PENERAPANAN *EVOLUATIONARY ALGORITHM* DAN *CHRISTOFIDES ALGORITHM* DALAM OPTIMASI RUTE DISTRIBUSI UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA OPERASIONAL (STUDI KASUS: PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul)

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia

Nama : Muhammad Nurhadi
No. Mahasiswa : 21522175

PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 20 - Agustus - 2025



Muhammad Nurhadi

21522175

LEMBAR PENELITIAN

SURAT KETERANGAN
No. 005/EXT/SZEJNT/VII/2025

Yang bertanda tangan dibawah ini,

Nama	: Muhammad Arifin
Jabatan	: Associate Business Manager (ABM)

Menerangkan bahwa,

Nama	: Muhammad Nurhadi
Nama Universitas	: Universitas Islam Indonesia
Jurusan	: Teknik Industri

Telah melakukan Magang dan Pengambilan Data Tugas Akhir di Perusahaan kami, dengan keterangan sebagai berikut,

Tanggal	: 1 April 2025 s/d 1 Juni 2025
Di bagian	: Sales and Distribution

Demikianlah surat keterangan ini dibuat, untuk digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 17 Juli 2025
PT. FRISIAN FLAG INDONESIA

Muhammad Arifin
Associate Business Manager (ABM)

PT Frisian Flag Indonesia is affiliated to Royal FrieslandCampina N.V.

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING

PENERAPANAN *EVOLUATIONARY ALGORITHM* DAN *CHRISTOFIDES ALGORITHM* DALAM OPTIMASI RUTE DISTIBUSI UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA OPERASIONAL (STUDI KASUS: PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Nurhadi

No. Mahasiswa : 21522175

Yogyakarta, 25 - Agustus - 2025

Dosen Pembimbing



(Danang Setiawan, S.T., M,T.)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENERAPANAN *EVOLUATIONARY ALGORITHM* DAN *CHRISTOFIDES ALGORITHM* DALAM OPTIMASI RUTE DISTIBUSI UNTUK MEMINIMALKAN BIAYA OPERASIONAL (STUDI KASUS: PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul)

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Muhammad Nurhadi

No. Mahasiswa : 21522175

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Tekonologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 29 - Juli – 2024

Tim Penguji

Danang Setiawan, S.T., M.T.	
Ketua	
Ir. Muchamad Sugarindra, S.T., M.T.I., IPM.	
Anggota I	
Dian Janari, S.T., M.T.	
Anggota II	

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, ST., M.Sc., Ph.D., IPM.

NIK. 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Alhamdulillahhirabal allamin, Tugas akhir ini merupakan salah satu bentuk perjuangan awal yang membuka ke perjalanan berikutnya sebagai bukti perjuangan penulis dalam menyelesaikan program sarjana Teknik Industri Universitas Islam Indonesia. Penulisan Tugas Akhir ini saya persembahkan kepada saya sendiri yang telah berjuang melalui berbagai hambatan yang ada hingga dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan maksimal. Selain itu, saya persembahkan kepada kedua orang tua tercinta saya Bapak Ngatijo dan Ibu Mustangiroh, serta saudara kandung Rohman Nur Haqiqi, Anisa Nur Oktaviani, yang senantiasa memberikan cinta kasih yang telah diberikan selama penulis kecil hingga saat ini serta doa yang selalu dipanjatkan. Semoga karya ini dapat menjadi salah satu hal yang dapat dibanggakan dari seorang yang masih banyak belajar dan akan terus belajar.

MOTTO

”Allah tidak membebani seseorang melakukan sesuai dengan kesanggupannya”
(QS: Al-Baqarah : 286)

”Sesunggunya hati manusia itu mudah berbolak-balik daripada air dalam bejuna yang tidak menididih”
(HR: Muslim : 24317)

”Maka sesungguhnya bersama kesulitan itu ada kemudahan”
”(QS: Al- Insyirah: 6)

”Hidup bukan saling mendahului, bermimpilah sendiri-sendiri”
(Baskara Putra – Hindia)

”Tidak ada mimpi yang gagal, yang ada hanyalah mimpi yang tertunda. Cuma sekiranya kalau teman-teman merasa gagal dalam mencapai mimpi jangan khawatir mimipi-mimpi lain bisa diciptakan”
(Windah Basudara)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakaatuh,
Alhamdulillahirabbil'alamiin, segala puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir dengan judul *"Penerapan Evolutionary Algorithm dan Christofides Algoritm Dalam Optimasi Rute Distribusi untuk Meminimalkan Biaya Operasional (Studi Kasus: PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul)"*, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia. Shalawat serta salam tak lupa penulis haturkan kepada Nabi Muhammad SAW yang telah membawa cahaya ilmu pengetahuan bagi umat manusia.

Tugas Akhir ini bukan sekadar rangkaian algoritma, data, atau metode. Ia adalah saksi dari malam-malam panjang yang sunyi, dari doa-doa lirih yang tak terdengar, dari lembar-lembar revisi yang kadang membuat hati ingin menyerah. Ini adalah tentang keberanian untuk melangkah, bahkan ketika langkah terasa berat. Tentang keyakinan, bahwa meski tak selalu mudah, semua perjuangan akan menemukan ujungnya. Oleh karena itu, dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Dr. Drs. Imam Djati Widodo, M.Eng.Sc. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Danang Setiawan, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing tugas akhir yang telah memberikan ilmu, arahan, koreksi, dan semangat dalam setiap tahapan penyusunan Tugas Akhir ini.
5. Kedua orang tua penulis, yaitu Bapak Ngatijo dan Ibu Mustangiroh serta saudara-saudari kandung saya, yaitu Rohman Nur Haqiqi dan Anisa Nur Oktaviani yang selalu hadir dalam setiap ketikan Tugas Akhir ini, selalu memberikan doa yang tulus, dan selalu memberikan dukungan dengan baik dan halus.
6. Bapak Riki Rakeandana selaku Business Regional Manager (BRM) wilayah jawa tengah yang sudah memberikan saya izin untuk magang dan melakukan penelitian pada PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul.
7. Bapak Muhammad Arifin selaku Associate Business Manager (ABM) yang sudah memberikan saya tempat untuk tumbuh dan belajar untuk menuntun ilmu serta memberikan dukungan penuh untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.
8. Bapak wahid, bapak Fauzan, dan bapak adit selaku mentor yang memberikan saya tempat yang teduh untuk menimba ilmu di tempat kerja, diberikan arahan perlahan, dan terus diberikan pelajaran yang berharga.
9. Sahabat saya dari awal perkuliahan Fasya, Aninda, dan Raihana telah menjadi tempat berbagi cerita suka dan duka selama proses perjalanan kuliah dan di jogja.
10. Moch Adib Heramunida M. Zidan Al-Fachri, Adhira Yudanto, Ahmad Fuad Nazhif, fadillah Aditya Maulana, Ilham Bintang, Dandy Fri Subagja, Dzyqi Ugih, Qinthara, Adam Althaf Salim, Deza Alfarend, Reyhan Hilmi, Sasty, Vira, Nabila, Kharnisya, Dhita dan teman-teman saya yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu, kalian bukan sekadar teman tawa, tetapi juga jangkar di tengah badai. Terima kasih telah menjadi pelipur lelah, menjadi

pengingat bahwa meski lelah dalam mengerjakan Tugas Akhir, kita masih punya ruang untuk tertawa dan bernafas.

11. Serta Lalu Alfathy Daffa, Andra, Rafi Bintang, dan teman-teman kos griya tentrem yang sudah menemani canda tawa dan hal-hal yang selalu membuat kebahagiaan di kos dari awal di jogja hingga tahun terakhir perkuliahan.

Akhir kata, penulis menyadari sepenuhnya bahwa karya ini belumlah sempurna. Namun semoga apa yang ditulis, dihitung, dan direnungkan dalam lembaran ini dapat memberi manfaat bagi dunia akademik maupun praktisi industri yang sedang mencari efisiensi dalam distribusi.

Yogyakarta, 20 - Agustus - 2025



Muhammad Nurhadi

21522175

ABSTRAK

Distribusi merupakan salah satu aktivitas utama dalam rantai pasok karena berhubungan langsung dengan ketersediaan produk di tangan konsumen. Pada praktiknya, ketidaktepatan rute distribusi dapat menyebabkan jarak tempuh lebih panjang, waktu pengiriman yang tidak efisien, serta peningkatan biaya operasional. Kondisi tersebut ditemukan di PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul, di mana rute distribusi yang digunakan perusahaan menghasilkan total jarak tempuh 470,8 km dengan biaya operasional sebesar Rp1.018.037,40 per hari. Inefisiensi ini menimbulkan pemborosan bahan bakar dan berpotensi menurunkan daya saing perusahaan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute distribusi dalam upaya menekan biaya operasional sekaligus meningkatkan efisiensi waktu pengiriman. Metode yang diterapkan adalah kombinasi Evolutionary Algorithm (EA) dan Christofides Algorithm (CA) pada kasus Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan batasan waktu kerja harian 480 menit dan alokasi waktu istirahat 60 menit. Data penelitian meliputi 1 main hub, 100 titik pelanggan, kapasitas dan jumlah kendaraan, serta matriks jarak dan waktu tempuh. Proses optimasi diawali dengan pembentukan matriks jarak dan waktu, dilanjutkan penerapan EA untuk menghasilkan rute awal yang feasible, kemudian penyempurnaan urutan rute dilakukan dengan CA untuk mendekati solusi optimal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute usulan mampu menurunkan jarak tempuh menjadi 278,84 km atau berkurang sekitar 40,8%, serta menekan biaya operasional menjadi Rp880.708,00 atau turun sekitar 13,5% dibandingkan dengan rute awal perusahaan. Penurunan ini secara langsung berdampak pada penghematan konsumsi bahan bakar, pemanfaatan armada yang lebih efektif, dan peningkatan keandalan waktu pengiriman.

Kata Kunci: Optimasi rute distribusi, *Evolutionary Algorithm*, *Christofides Algorithm*, *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), biaya operasional.

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN ii
LEMBAR PENELITIAN iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI v
HALAMAN PERSEMBAHAN vi
MOTTO vii
KATA PENGANTAR viii
ABSTRAK x
DAFTAR ISI xi
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR GAMBAR xiv
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Manfaat Penelitian 4
1.5 Batasan Penelitian 5
1.6 Sistematika Penulisan 5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 7
2.1 Kajian Literatur 7
2.2 Landasan Teori 12
2.2.1 *Supply Chain Management* 12
2.2.2 Transportasi 13
2.2.3 Logistik 15
2.2.4 Biaya Operasional 15
2.2.5 *Vehivle Routing Problem* 16
2.2.6 *Evolutionary Algorithm* 17
2.2.7 Distribusi 18
2.2.8 Model Matematis 19
2.2.9 Algoritma Christofides 20
2.2.10 Validasi dan Verifikasi 20
BAB III METODE PENELITIAN 22
3.1 Objek Penelitian 22
3.2 Metode Pengumpulan Data 22
3.3 Persamaan Model Matematika 23
3.4 Alur Penelitian 24
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA 28
4.1 Pengumpulan Data 28
4.1.1 Profil Perusahaan 28
4.1.2 Visi Misi Perusahaan 29
4.1.3 Formulasi Masalah 30
4.2 Pengolahan Data 34
4.2.1 Rute Perusahaan 34
4.2.2 Matriks Jarak 34
4.2.3 Waktu Tempuh 37

4.2.4 Proses Evolutionary Algorithm 37
4.2.5 Proses *Christofides Algorithm* 45
BAB V PEMBAHASAN 59
5.1 Analisis Hasil 59
5.2 Analisis Biaya Distribusi 68
5.3 Perbandingan Algoritma Christofides dengan Kebijakan Perusahaan 71
BAB VI PENUTUP 77
6.1 Kesimpulan 77
6.2 Saran 77
DAFTAR PUSTAKA 79
LAMPIRAN A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian 11
Tabel 2. 2 Moda Transportasi 14
Tabel 4. 1 Data konsumen 31
Tabel 4. 2 Waktu Kerja 33
Tabel 4. 3 Data Kendaraan 34
Tabel 4. 4 Rute Distribusi Awalan 34
Tabel 4. 5 Matriks Jarak Tempuh 36
Tabel 4. 6 Data Koordinat 37
Tabel 4. 7 Matriks Waktu Tempuh 41
Tabel 4. 8 Pembagian Toko 42
Tabel 4. 9 Total Time 43
Tabel 4. 10 Tota Load 44
Tabel 4. 11 Pembagian Toko 45
Tabel 4. 12 *Chirstofides Algorithm* 45
Tabel 4. 13 Visualisasi 50
Tabel 4. 14 Hasil Urutan Distribusi 51
Tabel 5. 1 *Route Distribution* 1 60
Tabel 5. 2 *Route* 1 Total *Time* 61
Tabel 5. 3 *Route Distribution* 2 63
Tabel 5. 4 *Route* 2 Total *Time* 64
Tabel 5. 5 *Route Distribution* 3 66
Tabel 5. 6 *Route* 3 Total *Time* 67
Tabel 5. 7 Biaya Service Armada 68
Tabel 5. 8 Biaya Tenaga Kerja 69
Tabel 5. 9 Biaya Bahan Bakar 69
Tabel 5. 10 Total Biaya *Route* Awal 70
Tabel 5. 11 Total Biaya *Route* Usulan 71

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Grafik Data Biaya Operasional Perusahaan 2
Gambar 2. 1 Rantai Pasok 12
Gambar 2. 2 Sel rute *Vehicle Routing Problem* 16
Gambar 2. 3 proses evolutionary algorithm 18
Gambar 3. 1 Alur Pelitian 25
Gambar 4. 1 Produk PT. Frisian Flag Indonesia 29
Gambar 4. 2 Logo PT. Frisian Flag Indonesia 29
Gambar 4. 3 Solver 44
Gambar 4. 4 Uji Kesamaan Rata-Rata *Route* 1 53
Gambar 4. 5 Uji Kesamaan Variansi *Route* 1 53
Gambar 4. 6 Uji Kesamaan Rata-Rata *Route* 2 54
Gambar 4. 7 Uji Kesamaan Dua Variansi *Route* 2 54
Gambar 4. 8 Uji Kesamaan Dua Rata-Rata *Route* 3 55
Gambar 4. 9 Uji Kesamaan Varian *Route* 3 55
Gambar 5. 1 *Route Distribution* 1 59
Gambar 5. 2 *Route Distribution* 2 62
Gambar 5. 3 *Route Distribution* 3 65
Gambar 5. 4 Perbandingan Kebijakan Perusahaa dengan *Christofides* 72

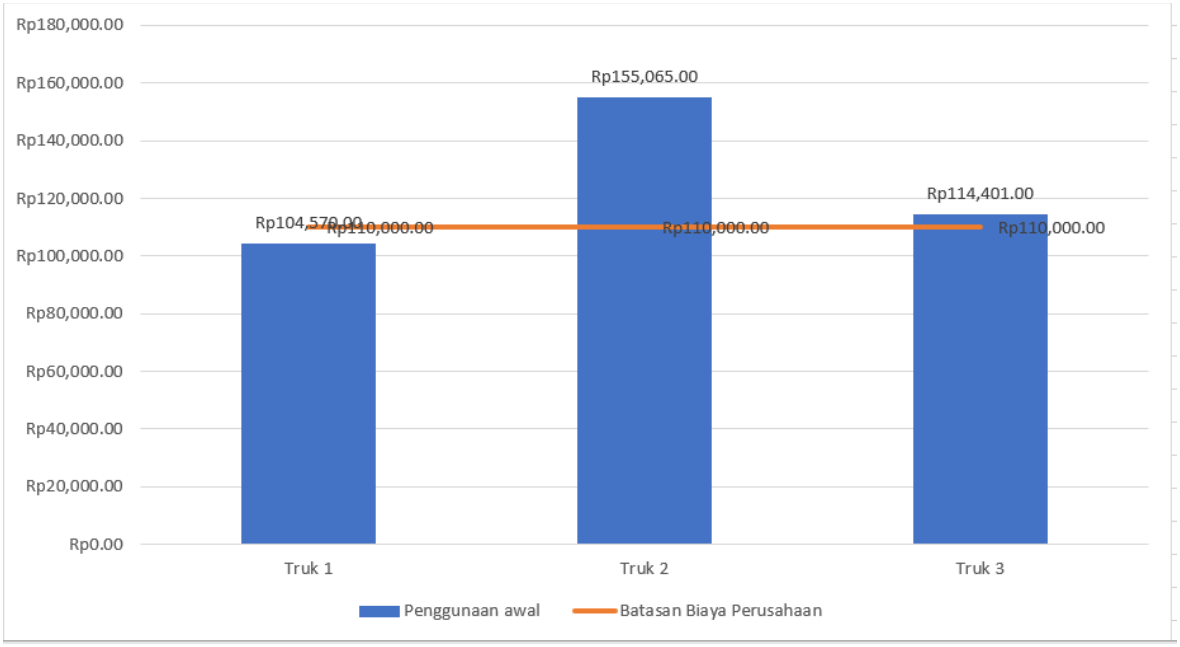
BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Negara Indonesia memiliki sumber daya alam yang luar biasa, bahasa, budaya, dan adat istiadat yang beragam. Kekayaan ini sangat berpotensi untuk dikelola dengan baik oleh produk dalam negeri sendiri, yang akan sangat membantu dalam memenuhi kebutuhan bahan pokok negara primhingga impor produk Muhammad Khoirul Hadi, (2024). Susu merupakan cairan bergizi berwarna putih dengan nutrient yang lengkap seperti karbohidrat, protein, lemak, vitamin, dan mineral. Masyarakat Indonesia terhadap konsumsi susu murni masih banyak yang tidak menyukai hal ini disebabkan rasa dari susu yang tidak manis dan terasa hambar. Alternatif susu agar disukai masyakarat adalah dengan melakukan proses pengolahan terhadap susu tersebut Primiani Edianingsih, (2020). Sehingga, susu sangat dibutuhkan oleh anak-anak karena mengandung banyak nutrisi yang baik untuk pertumbuhan otakl dan kesehatan tubuh. Selain itu, susu dapat dikonsumsi oleh orang dewasa, remaja dan orang lanjut. Pada akhirnya susu berkembang menjadi beberapa bentuk yang sering dikonsumi, seperti susu bubuk, susu kental manis, dan susu siap saji. Karena itu, perusahaan produsen susu memainkan peran penting dalam memenuhi permintaan pelanggan.

Perusahaan baru yang memiliki bisnis serupa muncul sebagai akibat fenomena perkembangan dunia bsinis yang semakin pesat in, hal ini menyebabkan persaingan yang semakin ketat. Dalam situasi seperti ini, produsen harus dapat memaksimalkan sumber daya mereka. Untuk mencapai tujuan perusahaan, baik jangka pendek maupun jangka panjang, produsen harus mempertimbangkan misi bisnis dan strategi pemasarannya secara kritis mengingat persaingan yang semakin ketat di dunia bisnis. Keberhasilan produk yang dibuat dan bagaimana penyalur memasarkannya sampai ke tangan pelanggan menentukan keberhasilan suatu perusahaan dalam mencapai tujuaannya Soleha & Ginanjar, (2023). Kantor pusat perusahaan berlokasi di Jalan Raya Bogor km 5, Pasar Rebo, Jakarta timur, dengan pabrik pusat ada di Cikarang, Bekasi. Sebagai bagian dari Friesland Campina, sebuah koperasi susu yang berbeasis di Meppel, Belanda. PT. Frisian Flag Indonesia memiliki komitmen untuk menyediakan produk-produk yang memiliki kualitas yang tinggi yang dimana hal itu selaras dengan visi perusahaan, yaitu “menjadi perusaahaan nutrisi berbasis susu terkemuka yang menyediakan produk-produk berkuliatas yang terjangkau bagi seluruh konsumen Indonesia”.

Distribusi merupakan proses penyaluran barang hasil produksi dari suatu perusahaan kepada konsumen, proses ini dianggap sangat penting karena tanpa proses pendistribusian maka perusahaan tidak akan memperoleh profit yang maksimal dari barang hasil produksi Dina Enjeli Sihombing & Faiz Ahyaningsih, (2023). Fokus pada penelitian ini PT. Frisian Flag Indonesai Distribusi Bantul memiliki untuk mengoptimalkan rute ditribusi dalam upaya meminimalkan biaya operasional dan meningkatkan efisiensi pengiriman. PT. Frisian Flag Indonesia menyediakan lebih dari 200 distibutor yang bermitra, salah satunya berada di PT. Frisian Flag Indonesia Distibutor Bantul. Dalam melakukan pemenuhan permintaan dari konsumen, PT. Frisian Flag Indonesia Distibutor Bantul memiliki kendala dalam proses pengiriman produk kepada pelanggan, yaitu terkait dengan efisiensi biaya, kecepatan pengiriman, dan optimasi distribusi dan rute pengiriman menjadi salah satu komponen penting untuk menginkatkan daya saing perusahaan. Dengan hal tersebut, menjadi penting karena dapat menyebabkan peningkatan biaya bahan bakar, dan waktu pengiriman yang menjadi lebih lama Pramestiana & Anwar, (2025).



Gambar 1. 1 Grafik Data Biaya Operasional Perusahaan

Distribusi produk merupakan salah satu kegiatan vital dalam rantai pasok karena berhubungan langsung dengan ketersediaan barang di tangan konsumen. Pada perusahaan distribusi, biaya operasional terutama bahan bakar minyak (BBM) menjadi komponen utama yang menentukan efisiensi dan profitabilitas. Berdasarkan Gambar 1.1 Data Biaya Operasional, PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul menetapkan batas biaya sebesar Rp110.000 per

hari per truk. Namun, realisasi penggunaan BBM menunjukkan adanya deviasi yang signifikan. Truk 1 relatif efisien dengan biaya Rp104.578/hari (di bawah target), Truk 3 sedikit melebihi target dengan biaya Rp114.401/hari (4% lebih tinggi), sedangkan Truk 2 justru paling boros dengan biaya Rp155.065/hari, atau sekitar 40% lebih tinggi dari target. Jika selisih biaya pada Truk 2 tersebut diakumulasikan dalam satu tahun operasional, maka potensi pemborosan dapat mencapai lebih dari Rp12 juta. Kondisi ini menunjukkan adanya permasalahan serius pada sistem distribusi perusahaan, baik dari segi penentuan rute, ketidakseimbangan muatan, maupun pola operasional pengemudi. Oleh karena itu, diperlukan solusi optimasi rute distribusi agar penggunaan bahan bakar lebih terkendali, biaya operasional dapat ditekan, dan ketepatan waktu pengiriman tetap terjaga. Dalam penelitian ini digunakan kombinasi Evolutionary Algorithm (EA) dan Christofides Algorithm (CA) untuk menyelesaikan permasalahan Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) dengan mempertimbangkan batas waktu kerja harian, kapasitas angkut, serta jumlah armada.

Dari permasalahan dan dampak-dampak yang ada di atas, maka dibutuhkan penyelesaian berbasis pengoptimalan rute atau penentuan rute terbaik untuk memaksimalkan biaya yang dikeluarkan untuk bahan bakar. Metode yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah diatas adalah *Evolutionary Algorithm* (EA) dan *Christofides Algoirthm*. *Christofides Algorithm* merupakan algoritma yang mencari nilai minimum bobot dengan menggunakan *minimum spanning tree.* Sehingga menghasilkan irisan dari graf dengan nilai optimal. Selanjutnya, sirkuit euler dibuat, yang lebih mudah dibentuk daripada sirkuit hamilton, dan dapat dianggap sebagai aproksimasi dari solusi masalah tersebut Christofides, (2022). EA merupakan sebuah metaheuristic yang dapat diaplikasikan pada berbagai permasalahan optimasi (Sanggala, 2023). *Vehicle Routing Problema* (VRP) merupakan suatu permasalahan yang berfokus poda pendistribusian barang dari gudang (depot) perushaan ke penggunanya. Pengiriman barang mencakup layanan yang diberikan oleh perusahaan kepada sejumlah pelanggan dalam kurun waktu tertentu dengan menggunakan kendaraan terentu. Lokasi depot dan obyek pengiriman dapat berada di satu atau lebih tempat Prasetyo & Tamyiz, (2017).

Penelitian ini dengan menggunakan pendekatan *Evolutionary Algorithm* dan *Christofides Algorithm*, proses ini dapat merancang sejumlah rute kendaraan yang efisien dengan biaya yang minimal, yang memulai dan mengakhiri perpajalanan di lokasi yang sama. PT. Frisian Flag Indonesia Distibutor Bantul. Dengan menggunakan metode EA dan CA yang dipilih diharapkan kemampuannya dalam memnukan solusi otpimal secara lebih cepat dan akurat dan dapat

menghasilkan penghematan waktu pada permasalahan kompleks seperti penentuan rute distribusi tersebut.

Implementasi metode *Evolutionary Algorithm* (EA) dan *Christofides Algorithm* (CA) di PT. Frisian Flag Indonesia Distribusi bantul diharapkan dapat mampu menurunkan biaya operasional secara signifikan, khususnya dalam mengurangi biaya operasional perusahaan. Dengan rute distribusi yang lebih efisien, perusahaan dapat meningkatkan keakuratan waktu pengiriman dan mengoptimalkan penggunaan armada yang tersedia. Sehingga, proses pengiriman menjadi lebih andal dan respontif terhadap permintaan pelanggan. Dengan demikian PT. Frisian Flag Indonesia Distribusi Bantul bisa untuk memprkuat daya saing perusahaan di pasar distribusi makanan dan minuman.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah di jelaskan diatas, maka rumusan masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi rute distribusi yang optimal pada setiap kendaraan PT. Frisian Flag Distributor Bantul dalam upaya mengoptimalkan proses pengiriman?
2. Berapa besar persen penurunan jarak tempuh yang dihasilkan dari rute usulan, serta bagaimana pengaruh penurunan jarak tersebut terhadap total biaya distribusi di PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menentukan kondisi rute distribusi optimal untuk setiap kendaraan yang mengangkut produk di PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul untuk meningkatkan efisensi pengiriman produk ke pelanggan.
2. Mengetahui persentase penurunan jarak tempuh yang diperoleh dari rute distribusi usulan serta menganalisis pengaruh penurunan jarak tersebut terhadap total biaya distribusi di PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi pihak-pihak terkait. Adapun manfaat yang diperoleh dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagi perusahaan

   Perusahaan dapat memberikan manfaat solusi terhadap permasalahan khususnya dalam hal pengurangan biaya operasional dan peningkatan efisiensi pengiriman. Dengan optimasi rute menggunakan metode *Evolutionary Algorithm* dan *Christofides Algorithm*, perusahaan dapat mengatur pengiriman secara lebih sistematis, meminimalkan penggunaan armada sewaan, serta meningkatkan ketepatan waktu pengiriman.

2. Bagi Penulis

   Pada penelitian ini menjadi sarana pengembangan bagi penulis dengan memperoleh pengalaman langsung dalam menganalisis permasalahan nyata di dunia industri dan memberikan solusi terkait rute pendistribusian. Selain itu, penelitian bisa menjadi kontribusi yang dapat dijadikan referensi untuk penenelitian selanjutnya di masa depan.

1.5 Batasan Penelitian

Untuk menghindari meluasnya masalah dan mempermudah memahami permasalahan yang akan dibahas maka perlu adanya batasan masalah, yaitu:

1. Penelitian ini dilakukan khusus untuk menentukan rute pendistribusian dari PT. Frisian Flag Indonesia Distibutor Bantul dan meminimalisir biaya operasional.
2. Memfokuskan pada biaya dan efisiensi waktu/jarak, tidak menghitung dampak lingkungan (emisi)
3. Objek penelitian yang dipilih adalah Pendistribusian PT. Frisian Flag Indonesia DIstibutor Bantul.
4. Penelitian yang dilakukan hanya mempertimbangkan beberapa constraint yaitu kapasitas kendaraan dan jarak (waktu).
5. Tidak melakukan pertimbangan kegiatan diluar jalur kegiatan distribusi.

1.6 Sistematika Penulisan

Dalam penelitian ini terdiri dari beberapa bab yang nantinyua sebagai acuan upaya sistematis dalam penulisan penelitina ini, adapun sistematika dalam penulisan penelitian ini sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab 1 berisi tentang latar belakang, perumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan penelitian ini:

BAB II KAJIAN LITERATUR

Bagian ini berisi tentang kajian induktif dan kajian deduktif yang diambil dari jurnal, buku dan literatur lainnya yang mendukung dalam penyelesaian penenilitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Berisi tentang urutan kerangka penelitian, metode yang digunakan, aplikasi, baha baku, material, alat, tata cara penelitian, dan data yang digunakan.

BAB IV PENGUMPULAN PENGOLAHAN DATA

Dalam bagian ini akan menjelaskan pengumpulan data dengan prosedur yang sudah ditentukan, kemudian diolah sesuai dengan metode yang digunakan dan disertakan gambar dan grafik yang diperoleh dari hasil penelitian.

BAB V PEMBAHASAN

Berisi pembahasan kritis mengenai hasil bab sebelumnya dan belu dipaparkan di bab sebelumnya.

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan berisi pernyataan singkat yang ditulis dengan menggunakan urutan angka untuk menjabarkan hasil penelitian yang dilakukan. Kesimpulan harus menjawab rumusan permasalahan dan membuktikan hipotesis yang ada. Saran berisi berapa rekomendasi pengembangan penelitian lanjutan dengan menggunakan cara, alat ataupun metode lain dengan tujuan untuk memperluas pengembangan ilmu. Selain itu, bagian ini juga berisi saran yang diperlukan jika penelitian lanjutan akan dikembangkan berdasarkan keterbatasan/hambatan yang ditemukan selama penelitian dilakukan. Saran dapat dihasilkan dari pembahasan yang telah dilakukan di bab sebelumnya.

DAFTAR PUSTAKA

Bagian ini memuat sumber literatur yang menjadi rujukan dari penelitian ini, baik berupa jurnal, buku, maupun literasi lainnya yang menunjang.

LAMPIRAN

Berisi daftar tabel, gambar, ataupun bagian lainnya yang mendukung penelitian.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Dibawah ini merupakan beberapa kajian dan jurnal terdahulu yang membahas metode maupun permasalahan yang serupa dengan penelitian ini:

Penelitian yang dilakukan oleh Tohari & Astuti, (2023) Penelitian ini bertujuan menerapkan Algoritma Genetika untuk menentukan rute terpendek pengiriman barang dan surat pada PT Pos Indonesia Cabang Lamongan serta menghitung estimasi biaya perjalanan kurir. Dengan studi kasus 12 drop point yang datanya diambil dari Google Maps, diperoleh rute optimal A-L-K-J-I-H-G-F-E-D-C-B-A dengan total jarak 158 km dan estimasi biaya Rp158.000. Hasil ini menunjukkan Algoritma Genetika efektif dalam menghasilkan rute pengiriman yang efisien.

Penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan et al., (2023) Penelitian ini bertujuan menentukan jalur pengiriman optimal dengan jarak minimum guna mempercepat layanan distribusi barang dan menekan biaya operasional, menggunakan metode Algoritma Genetika. Data lokasi 27 titik pengiriman di Kabupaten Mojokerto dikumpulkan berdasarkan koordinat (latitude dan longitude), kemudian dikelompokkan menjadi tiga klaster melalui K-means clustering. Uji algoritma dilakukan dengan MATLAB menggunakan parameter crossover 0,6, mutasi 0,4, dan populasi bervariasi. Hasil penelitian menunjukkan klaster kedua menghasilkan rute terbaik dengan jarak tempuh 20 km, melintasi titik-titik seperti Dsn. Mojoroto, Banjartanggul, dan Dsn. Sumber Bendo. Temuan ini membuktikan bahwa Algoritma Genetika efektif dalam menghasilkan rute optimal yang meningkatkan efisiensi waktu dan biaya pengiriman.

Penelitian yang dilakukan oleh Dina Enjeli Sihombing & Faiz Ahyaningsih, (2023), Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan rute distribusi air minum dalam kemasan pada PT Mual Natio Maju Bersama agar lebih efisien dan tepat waktu. Permasalahan yang dihadapi adalah tidak adanya jalur distribusi tetap sehingga rute pengiriman sering berubah dan berisiko menimbulkan keterlambatan. Untuk itu digunakan Algoritma Genetika, yang menyelesaikan masalah melalui tahapan inisialisasi populasi, perhitungan fitness, seleksi roulette wheel, crossover, dan mutasi. Hasil penelitian menunjukkan rute optimal dengan panjang 125,27 unit kartesian dan nilai fitness terbaik 0,008000, sehingga terbukti metode ini efektif dalam menentukan jalur distribusi yang efisien.

Penelitian yang dilakukan oleh D. R. A. Putri et al., (2025) memiliki tujuan untuk menemukan rute distribusi logistik medis yang paling efektif di Kota Palembang dengan meminimalkan waktu perjalanan. Masalah ini diformulasikan sebagai *Travelling Salesman Problem (TSP)* dan penyelesaiannya menggunakan Algoritma Christofides sebagai metode heuristik. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute optimal untuk mengunjungi 20 rumah sakit di Palembang membutuhkan total waktu tempuh 171 menit, sehingga mampu meningkatkan efisiensi pengiriman peralatan medis dibandingkan dengan alternatif rute lainnya.

Peneliti yang dilakukan oleh Fadhillah A et al., (2023), Penelitian ini bertujuan mengukur efektivitas algoritma genetika dalam menyelesaikan Travelling Salesman Problem (TSP), yaitu menentukan rute terpendek dan waktu tercepat dari satu kota menuju beberapa kota tujuan lalu kembali ke titik awal. Permasalahan ini tergolong kompleks karena jumlah kemungkinan rute sangat besar sehingga sulit diselesaikan dengan cara konvensional. Algoritma genetika digunakan sebagai pendekatan berbasis evolusi, dengan tahapan inisialisasi kromosom, evaluasi fitness, seleksi roulette wheel, crossover, dan mutasi hingga terbentuk generasi baru dengan rute optimal.

Peneliti yang dilakukan oleh Tri et al., (2024), Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan rute dan kapasitas kendaraan pada layanan pickup perusahaan logistik untuk meningkatkan efisiensi operasional. Metode yang digunakan adalah Capacitated Vehicle Routing Problem with Pickup (CVRPP) dengan fokus penjemputan barang dari konsumen ke depot. Model yang dikembangkan berhasil diimplementasikan dalam aplikasi web berbasis Flask untuk memudahkan visualisasi dan penggunaan di lapangan.

Peneliti yang dilakukan oleh Indrapriyatna, (2024), tujuan dalam penelitian yang sudah dilakukan ini adalah untuk mengoptimalkan penempatan perangkat ODP pada jaringan FTTH PT BCV di Kampung Belian, Batam. Masalah penempatan manual yang menyebabkan distribusi kabel tidak efisien diselesaikan menggunakan metode Traveling Salesman Problem (TSP) dengan pendekatan algoritma genetika hibrida. Hasil terbaik diperoleh pada kombinasi parameter populasi 100, crossover 0,25, dan mutasi 0,005 yang menghasilkan rute paling optimal untuk penempatan ODP.

Peneliti yang dilakukan oleh Christata & Primadasa, (2023) , Penelitian ini bertujuan menentukan rute optimal distribusi es batu untuk meminimalkan jarak, waktu, dan biaya pengiriman. Dua metode digunakan, yaitu Nearest Neighbor dan Excel Solver dengan Evolutionary Algorithm pada kasus Travelling Salesman Problem (TSP). Hasil penelitian

menunjukkan Excel Solver lebih efisien dengan rute 36,52 km, dibandingkan Nearest Neighbor 40,72 km dan rute awal perusahaan 46,57 km, sehingga mampu mengurangi jarak tempuh hingga 22%.

Peneliti yang dilakukan oleh Ochelska-Mierzejewska et al., (2021) , Penelitian ini bertujuan menyelesaikan Vehicle Routing Problem (VRP) secara efisien dengan menemukan kombinasi operator genetika terbaik untuk menghasilkan solusi optimal. Algoritma genetika digunakan sebagai pendekatan metaheuristik dengan variasi pada operator seleksi, crossover, dan mutasi. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi alternating edges crossover dan rank selection memberikan performa terbaik serta mendekati solusi optimal pada berbagai skenario, termasuk data berskala besar, sehingga terbukti mampu meningkatkan efisiensi pencarian solusi distribusi kendaraan.

Peneliti yang dilakukan oleh Harir et al., (2020) , Penelitian ini bertujuan membantu wisatawan menentukan keputusan berwisata ke Pulau Lombok sesuai kebutuhan dan anggaran. Aplikasi dikembangkan dengan Logika Fuzzy Mamdani untuk memberikan rekomendasi kategori (“Tidak Memungkinkan”, “Cukup Memungkinkan”, “Memungkinkan”) dan Algoritma Genetika untuk mengoptimalkan alokasi anggaran. Hasil penelitian menunjukkan aplikasi mampu memberikan rekomendasi dengan akurasi 100% serta menghasilkan distribusi anggaran optimal pada parameter crossover 0,7 dan mutasi 0,2.

Peneliti yang dilakukan oleh Tang et al., (2025), Penelitian ini bertujuan merancang rute transportasi umum yang lebih efisien dengan meminimalkan kesenjangan antara prediksi kebutuhan perjalanan dan perilaku nyata pengguna. Permasalahan dimodelkan menggunakan data Location-Based Services (LBS) dan General Transit Feed Specification (GTFS), kemudian diselesaikan dengan metode map-matching berbasis Hidden Markov Model (HMM), serta k-means clustering dan shortest-path clustering untuk mengidentifikasi wilayah yang kurang terlayani. Hasil penelitian menunjukkan usulan rute baru atau perpanjangan rute bus berpotensi mengurangi Vehicle Miles Traveled (VMT) hingga 76.000 mil jika 10% pengguna kendaraan pribadi beralih ke bus, sehingga dapat menekan kemacetan dan mendukung transportasi berkelanjutan.

Peneliti yang dilakukan oleh Aswin et al., (2024) Penelitian ini bertujuan menentukan jalur kunjungan paling efisien ke pasar tradisional di Kota Bandar Lampung dengan memodelkan permasalahan sebagai Travelling Salesman Problem (TSP). Dua metode dibandingkan, yaitu Cheapest Insertion Heuristic dan Algoritma Christofides, baik secara

manual maupun menggunakan Python, dengan data waktu tempuh antar pasar dari Google Maps. Hasil analisis menunjukkan setelah perbaikan jalur, keduanya menghasilkan solusi optimal dengan total waktu tempuh 216 menit, meskipun perhitungan awal Christofides 226 menit dan Cheapest Insertion 217 menit. Temuan ini membuktikan bahwa kedua algoritma efektif dalam menghasilkan rute efisien untuk mendukung wisata pasar tradisional.

Peneliti yang dilakukan oleh Dutta et al., (2022) , Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan *Open Green Vehicle Routing Problem (OGVRP)* dengan mempertimbangkan efisiensi biaya dan pengurangan emisi karbon dalam distribusi barang menggunakan logistik pihak ketiga. Penyelesaiannya dilakukan melalui pendekatan Cluster Primary – Route Secondary, yang mengelompokkan pelanggan menggunakan algoritma k-means dan menyelesaikan rute setiap klaster dengan algoritma evolusioner multi-objektif, yaitu SPEA2 dan NSGA-II. Untuk memilih solusi terbaik dari berbagai alternatif, digunakan metode VIKOR. Hasil akhirnya menunjukkan bahwa metode SPEA2 memberikan performa lebih baik dibandingkan NSGA-II dalam hal konvergensi dan keragaman solusi, serta mampu mengurangi total biaya operasional dan emisi karbon secara signifikan

Peneliti yang dilakukan oleh Hien et al., (2023), Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan permasalahan Electric Vehicle Routing Problem (EVRP), yaitu penentuan rute kendaraan listrik yang efisien dalam mengunjungi pelanggan dan mengatur pengisian daya baterai secara optimal. Penyelesaian dilakukan dengan mengusulkan algoritma baru bernama Greedy Search-based Genetic Algorithm (GSGA), yang menggabungkan algoritma greedy search dan genetic algorithm untuk membentuk solusi rute dan lokasi stasiun pengisian daya. Hasil akhirnya menunjukkan bahwa algoritma GSGA mampu menghasilkan rute dengan jarak tempuh yang lebih pendek dan efisiensi energi yang lebih tinggi dibandingkan dengan algoritma baseline seperti GA, SACO, dan GSSA, serta mampu mengurangi waktu komputasi secara signifikan.

Peneliti yang dilakukan oleh Tjoea & Halim, (2023), bertujuan untuk mengevaluasi serta mengoptimalkan rute pelayaran kapal kontainer agar lebih efisien dalam jarak tempuh, biaya operasional, dan pemanfaatan kapasitas kapal. Permasalahan dimodelkan sebagai *Travelling Salesman Problem (TSP)* dan diselesaikan menggunakan Modified Minimum Spanning Tree (MST) untuk kasus non-TSP serta Algoritma Christofides untuk kasus TSP. Hasil penelitian menunjukkan adanya peningkatan efisiensi dengan kenaikan rata-rata utilitas kapal sebesar

1,13% dan penurunan jarak tempuh sebesar 2,83%, sehingga memberikan solusi lebih efektif bagi perusahaan pelayaran dalam distribusi logistik barang melalui jalur laut.

Tabel 2. 1 Posisi Penelitian

Penulis	Obyek (Industri)			Metode		
	makanan	Logistik	Pariwisata	Evolutionary Algorithm	Christofides Algorithm	Genetika Algorithm
(Tohari & Astuti, 2023)		✓				✓
(Ramadhan et al., 2023)		✓				✓
(Dina Enjeli Sihombing & Faiz Ahyaningsih, 2023)	✓			✓		
(D. R. A. Putri et al., 2025)	✓				✓	
(Fadhillah A et al., 2023)		✓		✓		
(Tri et al., 2024)		✓				✓
(Indrapriyatna, 2024)		✓		✓		
(Christata & Primadasa, 2023)	✓					✓
(Ochelska-Mierzejewska et al., 2021)		✓				✓
(Harir et al., 2020)			✓			✓
(Tang et al., 2025)			✓		✓	
(Aswin et al., 2024)			✓		✓	
(Dutta et al., 2022)		✓				✓
(Hien et al., 2023)		✓				✓
(Tjoea & Halim, 2023)			✓		✓	
(Muhammad Nurhadi 2025)	✓			✓	✓	

2.2 Landasan Teori

Landasan teori berisikan tentang istilah, teori atau formula yang terkait dengan topik penelitian. Lamdasan teori disusun dengan bersumber pada jurnal atau buku.

2.2.1 *Supply Chain Management*

Menurut Abdirad & Krishnan, (2020) Supply Chain Management adalah suatu kesatuan proses dan aktivitas produksi mulai bahan baku diperoleh dari supplier, proses penambahan nilai yang merubah bahan baku menjadi barang jadi, proses penyimpanan persediaan barang sampai proses pengiriman baran jadi tersebtu ke retailer dan konsumen. Supply Chainn yang dikelola dengan baik dapat menghasilkan produk yang murah, berkualitas, dan tepat waktu sehingga target pasar dapat terpenuhi dan menghasilkan keuntungan bagi perusahaan.



Gambar 2. 1 Rantai Pasok

Sumber: *storage.googleapis.com*

Manajemen rantai pasok adalah suatu proses yang menggambarkan koordinasi dari keseluruhan kegiatan rantai pasokan dimulai dari bahan baku dan diakhiri dengan konsumen atau pelanggan puas. Tujuan dari manajemen rantai pasokan adalah mengkoordinasi kegiatan dalam rantai pasokan untuk memaksimalkan keunggulan kompetitif dan manfaat dari rantai pasokan bagi konsumen akhir. Fitur utama dari rantai pasokan adalah peran dari anggota-anggotanya demi kepentingan timnya (rantai pasokan). Manajemen rantai pasokan adalah pengintregasian aktivitas pengadaan bahan dan pelayanan, pengubahan menjadi barang setengah jadi dan produk akhir, serta pengiriman kepada konsumen atau pelanggan. Tujuan utama dari manajemen rantai pasokan ini adalah penyerahan atau pengiriman produk secara

tepat waktu demi kepuasan konsumen, mengurangi waktu, mengurangi biaya, meningkatkan segala hasil dari supply chain, memusatkan kegiatan perencanaan dan distribusi Haudi et al., (2022). Berikut merupakan pihak yang memiliki kepentingan dengan *stakeholder* dalam beberapa rantai pasok yaitu Hayati, (2014):

1. *Supplier* (*chain 1*)

   Rantai dalam *supply chain* dimulai dari supplier menyediakan bahan utama. Setelah itu proses ditribusi barang dimulai. Bahan utama dapat berupa bahan baku, bahan mentah, bahan pendukung, suku cadang, atau produk dagangan.

2. *Supplier-Manufacturer* (*chain 1-2*)

   Rantai selanjutnya *manufacutrer* atau perusahaan yang bertujuan untuk melakukan proses produksi dan mengubah bahan baku yang sudah didapat dari *supplier* menjadi produk yang memiliki nilai tambah.

3. *Supplier-Manufacturer* (*chain 1-2*)

   Rantai ketiga ini melakukan distribusi produk yang sudah diproduksi kepada pelanggan menggunakan distributor atau *wholesaler*.

4. *Supplier-Manufacturer-Distribution-Retail Outlets* (*chain 1-2-3-4*)

   Produk dari distributor atau *wholesaler*, dilakukan dengan distribusi kembali kepada pelanggan yang lebih kecil yaitu seperti retail dan toko – toko yang lebih dekat dengan pelanggan.

5. *Supplier-Manufacturer-Distribution-Retail Outlets-Customer* (*chain 1-2-3-4-5*).

   Customer atau pelanggan merupakan rantai terakhir dalam sistem *supply chain* yang dapat disebut dengan *end user*.

2.2.2 Transportasi

Transportasi berasal dari bahasa latin yang berarti mengangkut sesuatu dari tempat asal ke tempat tujuan. Oleh karena itu, kata ”trans” berarti seberang atau sebelah lain dan ”portare” berarti mengagkut atau membawa. Transportasi adalah kegiatan memindahkan barang (muatan) dan penumpang satu tempat ke tempat lain. Selain itu, transportasi juga dapat didefinisikan sebagai usaha dan kegiatan mengangkut atau membawa barang dari tempat asal ke tempat tujuan untuk keperluan Decy Arwini & Juniastra, (2023). Transportasi sebagai sistem yang mengutamakan hubungan atau keterkaitan yang kompleks antara lokasi, jaringan dan kebutuhan transportasi sebagai berikut:

a. Lokasi

Peran transportasi berfungsi untuk menghubungkan lokasi satu dengan lokasi lain melalui sistem distribusi (*trasnsshipment*).

b. Jaringan transportasi

Transportasi sebelu dan setelah proses produksi sangat penting adalah jaringan transportasi dan diatur, termasuk rute perjalanan moda transportasi

c. Kebutuhan transportasi

Kebutuhan akan transportasi dapat dilihat seberapa besar pasar yang tersedia atau potensi penjualan barang, tingkat konsumsi dan jumlah masyaratakat. Jika semakin besar kebutuhan pada suatu produk maka semakin besar tingkat skala infrastruktur transportasi yang akan diperlukan. Oleh karena itu, jumlah transportasi yang dilibatkan akan semakin banyak dan kompleks.

Perkembangan dan persaingan dalam dunia industri menuntut setiap perusahaan untuk meningkatkan kompetensi salah satunya dengan menerapkan sistem transportasi intermoda yaitu penggunaan beberapa jenis rute dan moda transportasi (misalnya untuk pengiriman produk jarak jauh menggunakan pesawat kemudian dilanjutkan dengan menggunakan moda lainnya untuk mencapai tujuan), meningkatkan utilisasi volume pengiriman untuk menekan biaya, efisiensi penjadwalan pengiriman (misalnya pengisian inventori di beberapa tempat dalam satu kali proses pengiriman) dengan tetap mempertahankan service level dan biaya Decy Arwini & Juniastra, (2023).

Tabel 2. 2 Moda Transportasi

Armada	**Daya Angkut**	**Ongkos**	**Kecepatan**	**Fleksibilitas**	**Jarak Tempuh**	**Keterangan**
Truk	Relatif Kecil	Relatif Murah	Relatif Cepat	Tinggi	Relatif Jauh	Bisa *door to door*
Kereta Api	Besar	Murah	Rendah	Rendah	Relatif Jauh	transportasi darat yang bisa mengangkut jumlah besar dan beragam
Kapal Laut	Besar	Murah	Rendah	Rendah	Jauh	Unit untuk jarak jauh dan barang – barang beragam

Armada	Daya Angkut	Ongkos	Kecepatan	Fleksibilitas	Jarak Tempuh	Keterangan
Pesawat	Relatif Kecil	Mahal	Tinggi	Rendah	Jauh	Unit untuk barang yang memiliki nilai tinggi
Pipa	Besar	Mahal	Rendah	Rendah	Jauh	Unit hanya untuk satu jenis barang

2.2.3 Logistik

Logistik merupakan proses perencanaan, implementasi dan kontrol yang efisien, alur yang efektif dan penyimpanan barang dan jasa, dan seluruh informasi terkait dari suatu tutuj asal menuju titik konsumsi demi memenuhi kebutuhan pelanggan Decy Arwini & Juniastra, (2023). sebagai proses yang secara strategik mengatur pengadaan bahan (procurement), perpindahan dan penyimpanan bahan, komponen dan penyimpanan barang jadi (dan informasi terkait) melalui organisasi dan jaringan pemasarannya dengan cara tertentu sehingga keuntungan dapat dimaksimalkan baik untuk jangka waktu sekarang maupun waktu mendatang melalui pemenuhan pesanan dengan biaya yang efektif. Oleh karena itu, logistik selalu dihadapkan pada tantangan untuk menyeimbangkan dua tujuan yang seringkali bertolak belakang: menekan biaya operasional serendah mungkin dan sekaligus mempertahankan kualitas layanan yang tinggi demi menjaga kepuasan pelanggan. Keseimbangan ini tidak mudah dicapai karena efisiensi biaya sering kali berdampak pada penurunan kualitas layanan, dan sebaliknya. Dalam konteks dunia bisnis yang terus mengalami perubahan cepat, baik dari sisi teknologi, permintaan pasar, maupun persaingan, manajemen logistik yang terencana, adaptif, dan efektif menjadi sangat penting. Tanpa sistem logistik yang andal, perusahaan akan kesulitan memenuhi kebutuhan konsumen secara tepat waktu dan efisien, yang pada akhirnya dapat berdampak negatif terhadap daya saing dan keberlanjutan usaha Alacsel, (2024).

2.2.4 Biaya Operasional

Biaya operasional adalah proses yang melibatkan perencanaan dan pengawasan terhadap pengeluaran yang terkait dengan kegiatan operasional perusahaan. Dengan mengacu pada pengeluaran yang dikeluarkan untuk melaksanakan kegiatan operasional dalam sebuah perusahaan Panjaitan, (2023). Rumus untuk memperoleh biaya operasional sebagai berikut:

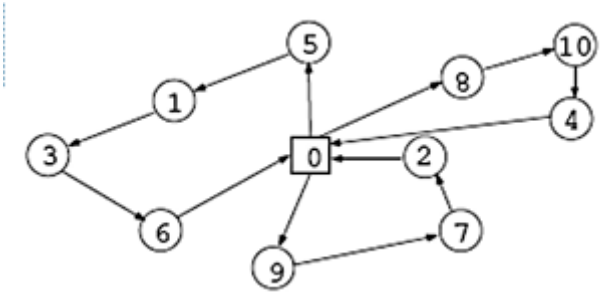
$$Biaya\ Operasional = Biaya\ Penjualan + Biaya\ Administrasi\ umum \quad (2.1)$$

Dalam biaya operasional pada pengelolaan perusahaan biaya terbagi menjadi 2 yaitu biaya tetap dan biaya variabel berdasarkan perilaku biaya sebagai berikut D. L. Putri et al., (2022) :

1. Biaya Tetap yaitu biaya yang secara total tidak dapat berubah saat aktivitas bisnis meningkat atau menurun. Yang termasuk kedalam biaya tetap adalah gaji dan upah karyawan yang dibayar secara tetap, biaya asuransi, pajak dan biaya lainnya yang besaranya tidak terpengaruh oleh volume penjualan.
2. Biaya Variabel yaitu biaya yang secara total meningkat secara proposional terhadap peningkatan dalam aktivitas dan menurun secara proporsional terhadap penurunan aktivitas. Biaya variabel termasuk biaya bahan baku langsung, beberapa perlengkapan, bahan bakar, listrik, dan unit unit lainnya.

2.2.5 *Vehivle Routing Problem*

Vehicle Routing Problem merupakan penentuan sebuah sel rute dimana setiap rute tersebut dilakukan oleh sebuah kendaraan yang memulai perjalan dari depot dan kembali ke depot untuk memenuhi permintaan kosumen tanpa melanggar batasan – batasan yang ditetapkan serta dapat meminimasi biaya transportasi Retno Andani, (2022). Solusi dari permasalahan VRP adalah rute dengan biaya minimum dengan meminimalkan jumlah kendaraan yang digunakan, solusi tersebut digambarkan dengan graf dibawah ini dengan contoh tiga kendaraan yang man node 0 merupakan dept dan node 1 sampai 10 merupakan titik tujuan.



Gambar 2. 2 Sel rute *Vehicle Routing Problem*

Pengaplikasian *Vehivle Routing Problem* dilakukan dengan meningkatkan kendaraan yang memuat barang sesuai kebutuhan pada setiap *customer* yang dimilik oleh perusahaan. Menurut Vigo, (2002) yaitu sebagai berikut:

a. Meminimumkan biaya transportasi, biaya ini meliputi jarak dan biaya tetap pada kendaraan yang digunakan.

b. Meminumkan jumlah kendaraan dan pengemudi pada proses pendistribusian yang dilakukan.
c. Menyeimbangkan rute yang ditemptuh dengan waktu perjalanan dan mmuatan kendaraan agar distribusi yang dilakukan optimal.
d. Memnimimalkan penalti yang didapat karena pelanggaran kurang puas.

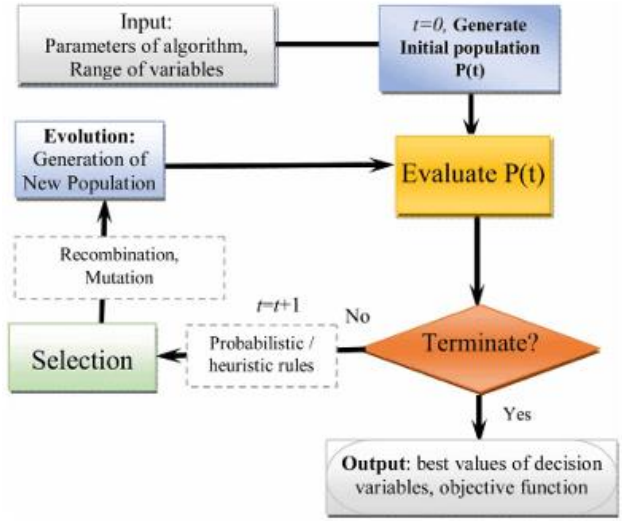
Berdasarkan penenlitian yang dilakukan. Terdapat beberapa permasalah VRP yang sehingga ditemukan dengan dikelompokan dalam kelas yang mempresentasikan sebagai berikut (Toth dan Vigo) yatu:

a. *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP). CVRP merupakan jenis *Vehicle Routing Problem* yang kendaraannya memiliki kapasitas terbatas.
b. *Vehicle Routing Problem with Pick up and Delivery* VRPPD). VRPPD merupakan jenis Vehicle Routing Problem dengan pelayanan antar jemput sesuai permintaan pelanggan.
c. *Distance Constrained Vehicle Routing Problem* (DCVRP). DCVRP merupakan jenis Vehicle Routing Problem dengan adanya batasan pada panjang rute.
d. *Vehicle Routing Problem with Multiple Depot* (MDVRP). MDVRP merupakan jenis Vehicle Routing Problem yang memiliki banyak depot dalam pendistribusiannya.
e. *Split Delivery Vehicle Routing Problem* (SDVRP). SDVRP merupakan jenis Vehicle Routing Problem dimana pelayanan dilakukan dengan menggunakan kendaraan yang tidak sama.
f. *Vehicle Routing Problem with Time Windows* (VRPTW). VRPTW merupakan jenis Vehicle Routing Problem dengan kendala kapasitas kendaraan dan batasan waktu (time windows) pada setiap pelanggan dan depot.

2.2.6 *Evolutionary Algorithm*

Metode *Evolutionary Algortithm* merupakan suatu metode di dalam *solver. Microsoft Excel* yang dapat digunakan untuk mencari solusi optimal suatu model. Filosofi evolusi makhluk hidup meruakan dasar yang diambil untuk metode ini. Model *evolutionary algorithm* bekerja dengan memasukan rute secara random dam menghitung total jarak keseluruhan dan mencari minimum jarak dari keseluruhan. Model ini juga mempertimbangkan kapasitas kendaraan yang dimiliki dan batasan waktu yang telah ditentukan perusahaan Yulianto et al., (2020). *Evolutionary Algorithm* terdiri dari sekumpulan individu yang disebtu dengan populasi, setiap individu mewakili sebuah *feasible solution*. Individu – individu pada generasi awal dibentuk dengan cara random dan akan mengalami proses *selection, recombination* dan *mutaion*

sehingga menghasilkan individu – individu baru yang akan hidup pada generasi selanjutnya, proses ini akan terus berlangsung hingga sejumlah generasi Sanggala, (2023). Berikut merupakan struktur dasar sebuah *evolutionary algorithm*:



Gambar 2. 3 proses evolutionary algorithm

Menurut Yulianto et al., (2020) *evolutionary algorithm* sendiri memiliki tiga keunggulan diantara lainnya sebagai berikut:

a. Kompleksitas fungsi objektif tidak mempengaruhi pada *evolutionary algorithm* selama fungsi tersebut masih dapat dievaluasi untuk masalah uji coba yang diberikan.
b. Kompleksitas dari kendala yang ada tidak mempengaruhi *evolutionary algorithm* secara signifikan.
c. *Evolutionary algorithm* dapat menemukan hasil *global optimum* pada prosesnya jika dijalankan secara menerus, karena metode ini sangat cocok digunakan pada permasalahan yang cenderung kecil.

2.2.7 Distribusi

Disribusi meruipakan proses menyalurkan barang dan jasa dari produsen ke konsumen dengan pelaku distribusi disebut sebagai distributor. Kegiatan pada Haudi et al., (2022) distribusi, ada pergudangan atau *warehousing* dimana gudang merupakan tempat penyimpanan barang – barang yang akan siap didistribusikan ke kota – kota hingga ke negara lain Zai et al., (2022). Hal ini adalah fasilitas dalam rantai pasokan untuk mengkonsolidasikan produk dalam mengurangi biaya transportasi, mencapai skla ekomoni pada bidang manufaktur dan mempersingkat waktu pengiriman.

Ada beberapa jenis saluran distribusi menurut Sari, (2019) yang membantu perusahaan dalam memasarkan produksnya duiantaranya adalah pedagang besar (*Wholesaler*) danpengecer (*Retail*), mereka juga sangat membantu dalam memperkenalkan(promotion) produk baru kepada masyarakat luas baik dari kalangan masyarakatmenengah ke atas hingga kalangan masyarakat menengah ke bawah. Adapun bentuk – bentuk saluran distribusi sebagai berikut:

a. Produsen – Konsumen

   Bentuk saluran pemasaran yang paling pendek dan sederhana yaitu saluran distribusi dari produsen ke konsumen, tanpa menggunakan perantara.

b. Produsen – Pengecer – Konsumen

   saluran distribusi ini juga disebut sebagai saluran distribusi langsung. Pengecer besar langsung melakukan pembelian pada produsen. Beberapa konsumen langsung melakukan pembelian pada produsen. Dan beberapa produsen mendirikan toko pengecer untuk melayani penjualan langsung pada konsumennya, tetapi kondisi saluran ini tidak umum lagi.

c. Produsen – Pedagang Besar – Pengecer – Konsumen

   Saluran ini disebut juga saluran tradisional, dan banyak digunakan oleh produsen. Produsen hanya melayani penjualan dalam jumlah besar kepada pedagang besar.

d. Produsen – Agen – Pedagang Besar - Pengecer – Konsumen

   Produsen memilih agen (agen penjualan atau agen pabrik) sebagai penyalurnya dan menjalankan kegiatan perdagangan besar dalam saluran distribusi yang ada. Sasaran penjualannya terutama ditujukan kepada para pengecer besar.

e. Produsen – Agen – Pengecer – Konsumen

   Untuk mencapai pengecer kecil, produsen sering menggunakan agen sebagai pengantara dalam penyaluran barangnya kepada pedagang besar yang kemudian menjual kepada toko-toko kecil. Agen yang terlibat dalam saluran distribusi ini terutama agen penjualan.

2.2.8 Model Matematis

Pentingnya dalam meminimasi biaya transportasi akan membuat proses distribusi menjadi lebih optimal dan kinerja perusahaan menjadi lebih efektif dan juga menjadi efisien dengan menggunakan *Vehicle Routing Problem* (VRP) dan bertujuan untuk menemukan rute dengan biaya yang minimum pada saat pengiriman suatu produk kepada sejumlah customer di beberapa lokasi yang berbeda dengan menggunakan kendaaran. Perkembangan model matematis ini memperhatikan untuk moda transportasi dan memperhatikan waktu jeda pada setiap lokasi untuk menyelesaikan permasalahan untuk menyelesaikan seperti *fixed cost,* biaya transportasi,

dan biaya tenaga kerja untuk penentuan rute transportasi. Berdasarkan hal tersebut, dapat dikarakteristikan ke dalam kelas *NP-hard (Nondeterministik Polynomial-hard)* dengan memuaskan kepada pengembangan metode – metode pendekatan *heuristic* dan *metaheuristic* agar solusi yang diperoleh tidak terjebak pada solusi yang optimum dan melakukan di ruang solusi untuk diterapkan dengan mudah pada dunia nyata Kristina et al., (2020).

2.2.9 Algoritma Christofides

Algoritma Christofides dinamai sesuai dengan nama orang yang menciptakan metode ini yaitu Nicos Christofides. Algoritma ini digunakan untuk mencari nilai minimum bobot dengan menggunakan *spanning tree* dengan menghasilkan irisan dari graf yang memiliki nilai optimal Christofides, (2022). Proses penggunaan dari algoritma christofides adalah membentuk sirkuit Euler yang lebih mudah dibentuk daripada sirkuit Hamilton sehingga dapat memberikan solusi optimal dengan waktu yang relatif lebih singkat. Adapun langkah-langkah dari Algoritma Christofides sebagai berikut Aswin et al., (2024):

a. Mencari *minumun spanning tree* yang menghubungkan tiap *n* titik dari graf.
b. Menentukan titik graf yang berderajat ganjil dan hubungkan dengan titik yang berderajat ganjil juga sehingga diperoleh titik yang berderajat genap.
c. Membuat sirkuit euler, kemudian menghapus sisi sehingga seluruh titik berderajat dua..

2.2.10 Validasi dan Verifikasi

Verifikasi merupakan proses untuk memastikan apakah model yang kita asumsikan dan rancang dalam *software* promodel sesuai dengan kondisi aktual. Beberapa tahapan yang dapat diambil untuk melakukan termasuk memastikan apakah semua data lpkasi, entitas, proses, dan arival yang dioperasikan semuanya ada pada promodel Satya Kusuma et al., (2023). Validasi merupakan suatu model simulasi dikatakan valid secara kuantitatif apabila hasil yang dihasilkan tidak menunjukkan perbedaan signifikan secara statistik dengan sistem nyata pada setiap ukuran kinerja yang digunakan, seperti waktu proses, biaya, atau tingka pemanfaatan sumber daya. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan *output* model dan data akutan menggunakan metode statistik misalnya uji-t, jika perbedaan ditemukan berada dalam batas toleransi yang dapat diterima, maka model dianggap mampu mempresentasikan kondisi sistem nyata secara akurat. Berikut merupakan beberapa langkah yang bisa digunakan dalam melakukan validasi Sybran, (2013):

1. Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

Dalam perhitungan ini akan dilakukan pembandingan antara rata-rata performa dan sistem nyata pada model simulasi.

- Hipotesis
  - H0: Tidak ada perbedaan rata-rata
  - H1: adanya perbedaan rata-rata.
- Rumus uji t :

$$t = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{s_p\sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}} \quad (2.1)$$

- Keterangan
  - x_1, x_2: rata-rata sistem nyata dan sistem simulasi
  - S1,S2: standar deviasi parameter sistem nyata dan model simulasi
  - N1: banyak data parameter sistem nyata
  - N2: banyak data parameter model simulasi
- Kriteria Keputusan

$$-\frac{t\alpha}{2}, n1 + n2 - 2 \leq t \leq \frac{t\alpha}{2}, n1 + n2 - 2 \Rightarrow H0\ diterima \quad (2.2)$$

2. Uji Kesamaan Dua Variansi

Dalam perhitungan ini akan digunakan memastikan bahwa variansi dari sistem rill da simulasi dianggap sama atau memiliki sebaran yang merata.

- Hipotesis
  - H0: $S_1^2 = S_2^2$
  - H1: $S_1^2 \neq S_2^2$
- Rumus uji F:

$$F = \frac{S_1^2}{S_2^2} \quad (2.3)$$

- Kriteria Keputusan

$$F1 - \alpha/2, n1 - 1, n2 - 1 \leq F \leq F\alpha/2, n1 - 1, n2 - 1 \Rightarrow H0\ diterima$$

BAB III
METODE PENELITIAN

3.1 Objek Penelitian

Objek Penelitian ini digunakan untuk mengumpulkan data dengan tujuan penelitian bersifat objektif, valid, dan variabel. Penelitian ”Penerapan *Evolutionary Algorithm* dalam optimasi rute distribusi untuk meminimalkan biaya operasional”, onjek penelitian ini yaitu optimasi rute dengan meminimasi biaya operasional yang dilakukan untuk pendistribusian PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul yang nantinya akan diselesaikan dengan menggunakan *evolutionary algorithm* dan tujuan penelitian ini pada laporan tugas akhir ini. Berikut ini merupakan profil dari perusahaan:

Nama Perusahaan	: PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul
Alamat	: Jl. Bantul, Area Sawah, Pendowoharjo, Kec. Sewon, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta.
No. Telepon	: +02742820820
Bidang Usaha	*: Warehouse*

3.2 Metode Pengumpulan Data

Adapun metode pengumpulan data yang terdapat pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

   Studi literatur yang digunakan bersumber dari jurnal dan buku sebagai landasan teori dan referensi penelitian digunakan untuk mengumpulkan data/referensi yang berkaitan dengan topik penelitian yang terdapat dalam literatur, buku, jurnal dan penelitian terkait lainnya. Studi literatur dapat bertujuan untuk memperkuat topik atau teori yang diterapkan oleh peneliti.

2. Wawancara

   Pengumpulan data dilakukan melalui metode wawancara, di mmana peneliti melakukan tanya jawab secara langsung dan sistematis dengan staf yang bekerja di PT Frisian Flag Indonesia Distribusi Bantul. Proses wawancara bertujuan untuk memperoleh informasi detail dan mendalam mengenai rute pendistribusian barang, khususnya terkait meminimasi biaya transportasi pada pendistribusian susu frisian flag.

3.3 Persamaan Model Matematika

- Tujuan yang dirumuskan adalah meminimalkan biaya operasional

$$\text{MIN TC} = \sum_{k\in K}\sum_{k\in N}\sum_{j\in N} C_{ij}.T_{ijk} \quad (3.1)$$

- Batasan yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Setiap Pelanggan dikunjungi tepat 1 kali oleh satu kendaraan

$$\sum_{k\in K}\sum_{i\in N, i\neq j} x_{ijk} = 1 \;\forall\, j \in N \setminus \quad (3.2)$$

2. Kendaraan berangkat dari *warehouse* dan kembali lagi ke *warehouse*.

$$\sum_{j\in N, j\neq 0} x_{0jk} = 1 \;\forall k \in K \quad (3.3)$$

$$\sum_{j\in N, j\neq 0} x_{i0jk} = 1 \;\forall k \in K \quad (3.4)$$

3. Jumlah armada yang digunakan tidak boleh melebihi jumlah armada yang tersedia.

$$\sum_{k\in K}\left(\sum_{j\in N} X0jk\right) \leq M \quad (3.5)$$

4. Setiap kendaraan tidak melebihi kapasitas maksimal kendaraan.

$$\sum_{j=1}^{n} dj \,.\sum_{i=1}^{n} Xijk \leq Q, \forall k \;\in \{1,2,3,\dots,n\} \quad (3.6)$$

5. Waktu perjalanan setiap rute harus kurang dari waktu maksimal yang sudah di tetapkan.

$$Tjk \;\leq Tmax, \qquad \forall j,k \quad (3.7)$$

6. solusi variabel keputusan bernilai biner

$$X_{ijk} \in \{0,1\}, \text{i, j} \in I_0; \text{t} \in T; k \in K \quad (3.8)$$

$$y_{it} \in \{0,1\}, \text{i} \in I_0; t \in T \quad (3.9)$$

Notasi parameter yang digunakan sebagai berikut:

i : titik awal atau distributor bantul

j : titik pengriman atau kunjungan

m : distibutor bantul

k : kendaraan

M : jumlah total kendaraan yang tersedia

c_{ij}: biaya perjalanan dari agen ke-i menuju agen ke-j

t_{ij}: waktu perjalanan dari agen ke-i menuju agen ke-j

D_i: total permintaan dari agen i ϵ I selama periode m hari

F : sejumlah frekuensi kunjungan yang diperkenankan

d_i: waktu pelayanan yang diperlukan ketika kendaraan mengunjungi agen ke-i

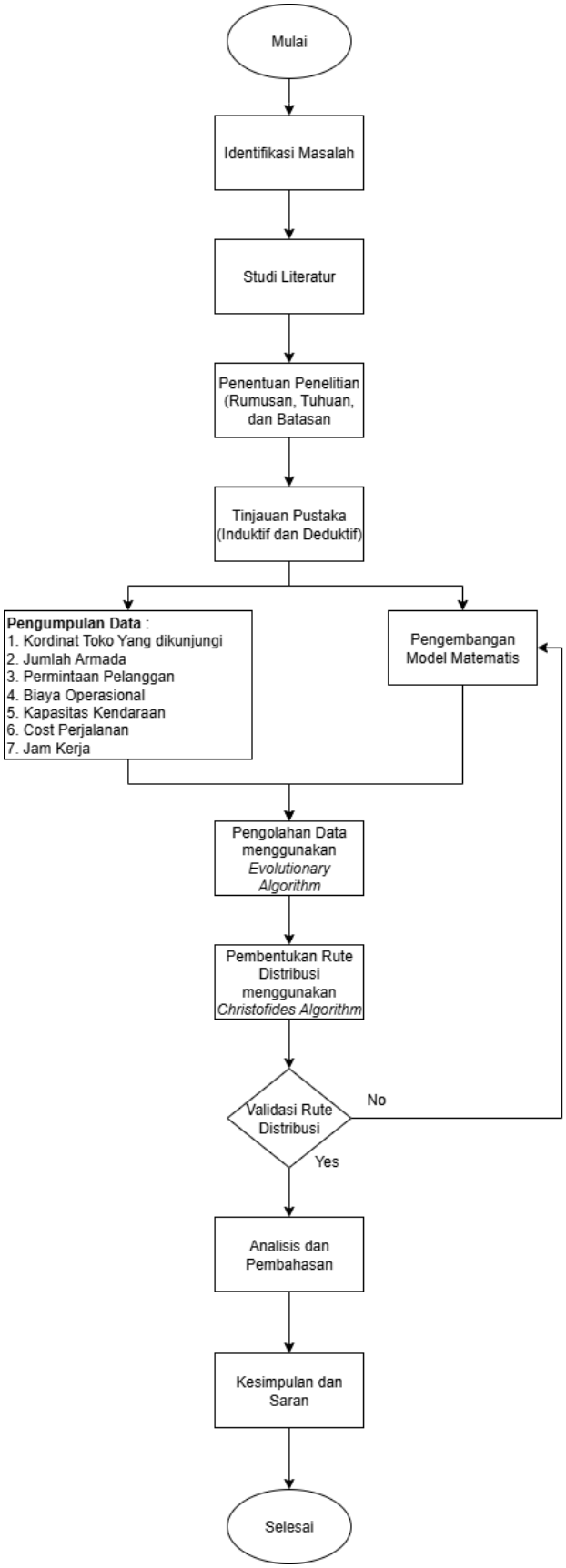
C : kapasitas maksimum tiap kendaraan

R : waktu perjalanan maksimum dari tiap perjalanan

fi : frekuensi kunjungan pada retailer i ϵ I selama periode m-day

3.4 Alur Penelitian

Alur penelitian bertujuan untuk menjabarkan langkah-langkah peneliti dalam mengembangkan dan merancangan penelitian ini dari awal hingga akhir. Berikut adalah flowchart dari alur penelitian ini:



Gambar 3. 1 Alur Penelitian

Berikut merupakan tahapan yang dilalui pada penelitian ini:

1. Mulai
2. Identifikasi Masalah

   Pada tahapan ini peneliti melakukan identifikas masalah dengan melakukan wawancara langsung terkait permasalahan yang detai pada PT. Frisian Flag Indonesia Distribusi Bantul. Terutama pada bagian pendistribusian barang dengan terbatasnya armada pada perusahaan hanya ada 3 armada dengan biaya operasional yang tinggi.
3. Studi Literatur

   Melakukan studi literatur yang betujuan untuk mempelajari dan mencari informasi lebih lanjut terkait permasalahan yang di hadapi perusahaan, studi literatur ini digunakan untuk mengetahui metodi yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan dengan cara mencari penelitian terdahulu, jurnal, atau buku terkait. Metode yang digunakan untuk optimasi rute distribusi untuk *Vehicle Routing Problem* dan *Evoluitoanry Algorithm*.
4. Rumusan Masalah, Tujuan, dan Batasan Penelitian

   Permasalahan utama pada penelitian ini bagaimama mengoptimalkan rute distirbusi dengan meminimasi biaya operasioanal. Dengan tujuan untuk menentukan rute terbaik dari berbagai rute distribusi, dengan menjaga batasan penelitian dari kapasitas kendaraan, jumlah armada, waktu kerja dan titik kordinat pelanggan.
5. Tinjauan Pustaka

   Tinjauan pustaka dilakukan dengan dua tahap yaitu kajian induktif dan deduktif. Kajian induktif pada penelitian sebelumya untuk mengidentifikasi perbedaan. Kajian deduktif terkait teori – teori yang mendasari pada teori transportasi, distribusi, logistik, VRP ,dan *evolutonary algorithm*.
6. Pengumpulan Data

   Data yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu model matematis dan simulasi algoritma. Data yang termasuk toko pelanggan, kordinat titik customer, jumlah armada, biaya operasional, rasio penggunaan bahan bakar, servis rutin kendaraan, rata – rata kecepatan kendaraan dan waktu tempuh perjalanan setiap titik.
7. Pengolahan Data

   Dari data yang sudah didapatkan dari peneliti menggunakan *Excel* untuk menentukan rute distribusi barang yang terbaik dengan menggunakan *evolutionary algorithm* dengan mempertimbangkan batasan – batasan yang sudah dibuat.

8. Model Maatematis

   Dengan menggunakan konsep Vehicle Routing Problem (VRP), dengan mempertimbangkan model matematis berbagai batasan – batasan yang ada, pada jumlah kendaraan, kapasitas kendaraan, waktu kerjam, biaya operasional dan waktu setiap titik.

9. Pembentukan Rute Distribusi

   Menentukan urutan kunjungan toko dalam setiap cluster yang sudah dibentuk oleh EA ditentukan oleh *Christofides Algorithm*. Ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi rute kunjungan dari segi jarak tempuh dan waktu distribusi.

10. Validasi Rute Distribusi

    Proses validasi yang dilakukan pada hasil simulasi EA untuk mengetahui solusi yang paling optimal dan dapat diterapkan pada pendistribusian. Jika hasil tidak maksimal maka akan dilakukan dengan perbaikan parameter algoritma.

11. Analisis

    Hasil Analisis dilakukan setelah melakukan validasi dan penentuan rute optimal dengan membandingkan hasil analisis terkait meminimasi biaya operasional dengan peningkatan efisiensi waktu dan biaya pada pendistribusian dengan adanya rute terbaru.

12. Kesimpulan dan Saran

    Pada tahap terakhir, peneliti dapat mensimpulkan keseluruhan terhadap rumusan masalah, dan tujuan. Saran dapat diberikan kepada perusahaan terkait penerapan rute terbaik dan menentukan apakah dengan meminimasi biaya operasional perusahaan bisa lebih efektif, selain itu, saran diberikan dengan melanjutkan terhadap peneliti selanjutnya.

13. Selesai

BAB IV
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1 Pengumpulan Data

Pada penelitian ini akan dibahas terkait pengumpulan data yang dilakukan peneliti untuk mendukung menyelesaikan terkait masalah pada PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul, yaitu tentang memimasi biaya operasional dengan mengoptimalkan rute distribusi.

4.1.1 Profil Perusahaan

PT. Frisian Flag Indonesia merupakan salah satu perusahaan susu terbesar yang ada di indonesia yang memproduksi susu bernutrisi dengan merk Frisian Flag, Friso, Susu Bendera, dan Omela untuk kalangan anak-anak dan keluarga sejak tahun 1922 atau selama 100 tahun. PT Frisian Flag Indonesia Indonesia berpusat di Jalan Raya Bogor km 5, Pasar Rebo, Jakarta Timur, Indonesia dan di Jalan Komp. Polri, Ciracas, Jakarta Timur, Indonesia. Perusahaan ini terletak di tengah-tengah kota Jakarta Timur, dengan pabrik pusat ada di Cikarang, Bekasi. merupakan sebuah Perusahaan sekaligus tempat melakukan produksi susu. PT. Frisian Flag Indonesia merupakan anak perusahaan yang memiliki pusat di Belanda dibawah pengawasan Perusahaan yang memliki nama ”*Rotal Frieland Foods*” dan berkantor di Mepple, Belanda.

PT. Frisian Flag Indonesia, sebagai bagian dari Friesland Campina, salah satu koperasi susu yang berpusat di Meppel, Belanda. Dengan jumlah karyawan 2.000 yang tersebar luas di seluruh wilayah indonesia. PT. Frisian Flag Indonesia juga tersu menerus berinovasi dalam pengembangan produk yang sesuai dengan kebutuhan gizi masyarakat indonesia di berbagai tahap kehidupan mulai dari anak-anak hingga orang dewasa. Perusahaan ini memliki dua fasilitas produksi utama yang berlokasi di Pasar Rebo dan Ciracas, Jakarta Timur yang mendukung distiribusi produknya ke seluruh wilayah di indonesia.

Sebagai perusahaan yang berkomitmen terhadap keberlanjutan, PT. Frisian Flag Indonesia aktif dalam berbagai inisatif sosial dan lingkungan, termasuk program edukasi gizi dan kemitraan dengan peternak lokal untuk meningkatkan kualitas susu segar. Perusahaan ini juga sudah menerapkan standar mutu dan keamanan pangan yang ketat serta mendukung agenda pemerintah dalam meningkatkan kesehatan masyarakat. Dengan pengalaman lebih dari satu abad PT. Frisian Flag Indonesia berupaya menjadi mitra terpercaya dalam menyediakan solusi nutrisi untuk masa depan bangsa.



Gambar 4. 1 Produk PT. Frisian Flag Indonesia

4.1.2 Visi Misi Perusahaan

Gambar 4. 2 Logo PT. Frisian Flag Indonesia

PT. Frisian Flag Indonesia mempunyai visi misi yang digunakan untuk mendukung perusahaan sehingga dapat merumuskan strategi dan bisa mencapai tujuan sudah ditentukan untuk bersaing global. Berikut merupakan visi misi dari perusahaan:

Visi:

”untuk menjadi perusahaan susu nomor satu di indonesia dan menyediakan produk bergizi bagi keluarga indoneisa”

Misi

- Menyediakan produk bergizi yang terjangkau bagi keluarga indonesia.
- Mendukung peningkatan kualitas kehidupan peternak,
- Berkontribusi pada kelangsungan kehidupan yang lebih baik bagi generasi masa depan.

4.1.3 Formulasi Masalah

Pada penelitian yang dilakukan adalah menyelesaikan permasalahan dalam penentuan rute distribusi produk PT. Frisian Flag Indonesia Distributror Bantul untuk mengurangi biaya yang dikeluarkan karena mengalami over budget yang dimana kurangnya armada dalam pengiriman distribusi produk. Selain itu, beberapa batasan yang tidak boleh dilebihi ketika kerja dngan kapasitas kendaraan 3000 Kg-4000 Kg dan jam kerja selama 480 menit atau 8 jam, penentuan rute yang optimal akan dilihat dari pengurangan jarak pada rute distribusi masing-masing kendaraan, sehingga meminimasi jarak yang dilakukan akan berdampak pada pengurangan biaya distribusi yang dikeluarkan PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul. Penelitian yang dilakukan terdapat 1 *main hub* dan 100 *customer*, untuk distributor dilambangkan sebagai I, sedangkan untuk *customer* (1,2,3…..n) dilambangkan j.

Berdasarkan permasalahan yang ada pada penelitian diatas, maka pemasalahan termasuk dalam jenis kasus penentuan rute *Capacity Vehicle Routing Problem* (CVRP), yaitu masalah distribusi yang memperhitugkan kapasitas maksimum kendaraan. Selanjutnya, masuk ke dalam *Time-Constrained* VRP (T-VRP) karena proses distribusi membatasi jumlah waktu kendaraan yang dapat digunakan dalam satu hari operasional. Oleh karena itu, *Evolutionary Algorithm* dan *Christofides Algorithm* digunakan, yang berfokus pada menemukan rute terpendek dengan mempertimbangkan waktu tempu tersingkat.

4.1.4 Data Penelitian

Data yang digunakan pada pengolahan VRP pada PT. Frisian Flag Indonesia Distribusi bangul yang menggunakan *Evolutionary Algorithm* meliputi pelanggan, titik koordinat distributor, *demand* per-pelanggannya, jenis kendaraan, jumlah kendaraan, dan lama jam kerja. Koordinat yang digunakan pada data berfungsi untuk membuat matriks tempuh, dengan matriks waktu tempuh ini digunakan dalam mencari waktu tempuh yang paling rendah dengan mempertimbangkan jumlah kapasitas muatan dan waktu kerja PT. Frisian Flagi Indonesia Distributor Bantul.

Titik koordinat yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *customer* PT. Frisian Flag Indonesia Distribusi Bantul yang berada di daerah istimewa Yogyakarta yang meliputi 1 *main hub* dan 100 *customer*. Berikut merupakan data titik koordianat dari setiap node.

Tabel 4. 1 Data konsumen

Id	Customer	Latitude	Longitude	Demand (KG)
0	Main Hub	-7.81	110.30	-
1	*Customer* 1	-7.83	110.38	172.22
2	*Customer* 2	-7.83	110.39	211.48
3	*Customer* 3	-7.78	110.36	88.48
4	*Customer* 4	-7.82	110.36	94.98
5	*Customer* 5	-7.81	110.39	287.2
6	*Customer* 6	-7.97	110.32	106.25
7	*Customer* 7	-7.78	110.37	150.13
8	*Customer* 8	-7.93	110.32	272.58
9	*Customer* 9	-7.93	110.32	75.22
10	*Customer* 10	-7.88	110.39	244.54
11	*Customer* 11	-7.80	110.42	49.02
12	*Customer* 12	-7.83	110.36	145.6
13	*Customer* 13	-7.83	110.33	218.75
14	*Customer* 14	-7.80	110.44	174.03
15	*Customer* 15	-7.85	110.41	143.23
16	*Customer* 16	-7.90	110.42	50.47
17	*Customer* 17	-7.79	110.35	214.96
18	*Customer* 18	-7.85	110.35	45.5
19	*Customer* 19	-7.96	110.30	133.75
20	*Customer* 20	-7.94	110.25	168.24
21	*Customer* 21	-7.84	110.24	217.78
22	*Customer* 22	-7.81	110.42	84.16
23	*Customer* 23	-7.86	110.42	151.66
24	*Customer* 24	-7.84	110.43	54.72
25	*Customer* 25	-7.81	110.35	95.68
26	*Customer* 26	-7.83	110.36	22.8
27	*Customer* 27	-7.90	110.47	49.2
28	*Customer* 28	-7.81	110.34	142.16
29	*Customer* 29	-7.88	110.38	213.76
30	*Customer* 30	-7.87	110.39	95.52
31	*Customer* 31	-7.83	110.42	155.92
32	*Customer* 32	-7.81	110.36	111.22
33	*Customer* 33	-7.80	110.40	55.78
34	*Customer* 34	-7.78	110.38	36.48
35	*Customer* 35	-7.97	110.27	9.12
36	*Customer* 36	-7.82	110.37	223.2
37	*Customer* 37	-7.81	110.39	88.98
38	*Customer* 38	-7.85	110.39	210.38

Id	Customer	Latitude	Longitude	Demand (KG)
39	*Customer* 39	-7.88	110.35	41.04
40	*Customer* 40	-7.85	110.34	169.3
41	*Customer* 41	-7.88	110.42	207.2
42	*Customer* 42	-7.82	110.28	85.98
43	*Customer* 43	-7.78	110.37	50.16
44	*Customer* 44	-7.90	110.30	260.55
45	*Customer* 45	-7.85	110.39	41.8
46	*Customer* 46	-7.87	110.40	161.5
47	*Customer* 47	-7.80	110.39	54.72
48	*Customer* 48	-7.85	110.41	210.16
49	*Customer* 49	-7.88	110.31	48.48
50	*Customer* 50	-7.92	110.39	61.78
51	*Customer* 51	-7.84	110.47	518.88
52	*Customer* 52	-7.94	110.37	102.25
53	*Customer* 53	-7.78	110.37	45.6
54	*Customer* 54	-7.88	110.42	54.72
55	*Customer* 55	-7.88	110.43	31.92
56	*Customer* 56	-7.81	110.26	146.46
57	*Customer* 57	-7.93	110.31	132.8
58	*Customer* 58	-7.87	110.35	90.24
59	*Customer* 59	-7.94	110.37	38.26
60	*Customer* 60	-7.81	110.41	20.88
61	*Customer* 61	-7.88	110.33	287.25
62	*Customer* 62	-7.89	110.33	45.6
63	*Customer* 63	-7.94	110.34	252.8
64	*Customer* 64	-7.84	110.34	22.8
65	*Customer* 65	-7.81	110.34	90.46
66	*Customer* 66	-7.81	110.36	68.4
67	*Customer* 67	-7.81	110.38	13.68
68	*Customer* 68	-7.80	110.36	9.12
69	*Customer* 69	-7.91	110.29	118.24
70	*Customer* 70	-7.83	110.37	27.36
71	*Customer* 71	-7.84	110.44	73.07
72	*Customer* 72	-7.80	110.36	45.6
73	*Customer* 73	-7.80	110.34	27.36
74	*Customer* 74	-7.82	110.39	111.34
75	*Customer* 75	-7.92	110.38	22.8
76	*Customer* 76	-7.81	110.37	205.43
77	*Customer* 77	-7.91	110.34	183.43
78	*Customer* 78	-7.83	110.50	27.36

Id	Customer	Latitude	Longitude	Demand (KG)
79	*Customer* 79	-7.97	110.32	55.56
80	*Customer* 80	-7.83	110.25	13.68
81	*Customer* 81	-7.80	110.34	9.12
82	*Customer* 82	-7.88	110.33	31.92
83	*Customer* 83	-7.83	110.37	80.06
84	*Customer* 84	-7.80	110.37	89.56
85	*Customer* 85	-7.80	110.35	4.56
86	*Customer* 86	-7.89	110.34	22.8
87	*Customer* 87	-7.88	110.33	183.61
88	*Customer* 88	-7.92	110.29	147.36
89	*Customer* 89	-7.78	110.37	18.24
90	*Customer* 90	-7.86	110.35	21.4
91	*Customer* 91	-7.87	110.36	4.56
92	*Customer* 92	-7.83	110.32	95.74
93	*Customer* 93	-7.81	110.38	38.24
94	*Customer* 94	-7.98	110.32	62.76
95	*Customer* 95	-7.82	110.48	92.6
96	*Customer* 96	-7.88	110.37	85.76
97	*Customer* 97	-7.91	110.37	4.56
98	*Customer* 98	-7.88	110.41	121.28
99	*Customer* 99	-7.82	110.33	114.45
100	*Customer* 100	-7.84	110.47	18.24

Selain titik koordinat distributor, *customer* dan *demand,* dalam penelitian ini juga terdapat batasan-batasan waktu kerja yang menjadi dalam batasa. Berikut merupakan waktu kerja pada PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul.

Tabel 4. 2 Waktu Kerja

Hari	Waktu	Keterangan
Senin-Jumat	08:00-16:00	Kerja
	11:30-12:30	Istirahat
Sabtu	08:00-14:00	
Minggu	-	Libur
Hari Besar	-	Libur

Untuk memaksimalkan pendistribusian dengan waktu yang terbatas sehingga PT, Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul memiliki 3 kendaraan dalam melakukan pendistribusian. Berikut merupakan spesifikasi 3 kendaraan yang digunakan perusahaan:

Tabel 4. 3 Data Kendaraan

Jenis kendaraan	Jumlah Kendaraan	Kapasitas Kendaraan	Rata-rata Kecepatan	Rasio Konsumsi BBM	Harga BBM
Box Double	1	4000 Kg	50 Km/jam	1:10	Rp 6.800,00
Box Engkel	2	3000 Kg		1:08	

4.2 Pengolahan Data

4.2.1 Rute Perusahaan

Berdasarkan pengumpulan data yang sudah dilakukan, dengan sampel 80 *customer* yang dapat terlayani dari data PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul dikarenakan total maksimal muatan kendaraan dan total waktu tempuh tidak mencapai target, diperoleh rute awal yang sudah ditentukan oleh perusahaan sebagai berikut:

Tabel 4. 4 Rute Distribusi Awalan

Truk	Rute	Total Jarak
Truk 1	0 – 76 – 52 - 68 – 74 – 36 – 95 – 3 - 39 – 31 – 4 – 88 – 75 – 71 – 77 – 63 – 8 – 13 – 93 – 92 – 87 – 21 – 94 – 48 – 96 – 42 – 18 – 9 – 82 – 46 – 10	153,78 km
Truk 2	0 – 90 – 25 - 61 – 85 – 23 – 45 – 50 - 6 – 32 – 67 – 78 – 7 – 43 – 30 – 73 – 11 – 59 – 33 – 69 – 91 – 80 – 72 – 65 - 24 – 1 – 44 – 56	182,43 km
Truk 3	0 – 97 – 66 - 28 – 19 – 98 – 40 – 79 - 83 – 17 – 60 – 86 – 47 – 62 – 20 – 37 – 64 – 15 – 58 – 14 – 27 – 16 – 5 – 22 – 41	134,59 km

Proses distribusi produk yang dilakukan dengan menggunakan 3 armada 1 Hino double Engkol dan 2 Hino Engkol, dengan total jarak yang didapat untuk truk 1 sebesar 153,78 km, truk 2 sebesar 182,43 km, dan truk 3 sebesar 134,59 km.

4.2.2 Matriks Jarak

Berdasarkan hasil pengumpulan data yang sudah dilakukan, terdapat 101 titik koordinat yang meliputi 100 *customer* dan 1 distributor pada PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul. Data ini digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik, yang menghasilkan matriks jarak

dari semua titik koordinat yang ada. Perhitungan jarak ini menggunakan *Haversine,* berikut merupakan dari rumus yang digunakan:

$$d = 2r\,.\arcsin\left(\sqrt{sin^2\left(\frac{\Delta\emptyset}{2}\right) + \cos(\emptyset 1).\cos(\emptyset 2)\,.sin^2\frac{\Delta\delta}{2}}\right) \quad (4.1)$$

Keterangan

$\Delta\emptyset$: $\emptyset 2 - \emptyset 1$

$\Delta\delta$: $\delta 2 - \delta 1$

r: Jari-jari Bumi

$\emptyset$: Latitude dalam radian

δ: Longitude dalam radian

Berikut merupakan matriks jarak dari keseluruhan titik koordinat dalam satu wilayah:

Tabel 4. 5 Matriks Jarak Tempuh

Time Mtx	Warehouse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	100
Warehouse	0.00	8.79	10.50	7.08	6.86	10.21	17.62	7.90	13.69	13.18	12.54	13.33	6.92	3.42	15.65	12.82	.....	19.03
1	8.79	0.00	1.71	5.46	1.96	2.52	16.80	5.30	13.07	12.66	5.90	5.53	1.89	5.63	7.56	4.14	.....	10.29
2	10.50	1.71	0.00	6.67	3.67	2.35	17.10	6.33	13.56	13.19	5.31	4.52	3.59	7.31	6.26	2.50	.....	8.61
3	7.08	5.46	6.67	0.00	4.25	4.93	20.97	0.85	17.01	16.53	11.31	7.23	4.80	5.92	9.53	9.08	.....	13.76
4	6.86	1.96	3.67	4.25	0.00	3.63	16.94	4.39	13.05	12.60	7.23	6.86	0.56	3.86	9.08	6.10	.....	12.17
5	10.21	2.52	2.35	4.93	3.63	0.00	19.20	4.40	15.53	15.14	7.66	3.23	3.90	7.47	5.48	4.35	.....	9.05
6	17.62	16.80	17.10	20.97	16.94	19.20	0.00	21.28	4.02	4.52	12.47	21.50	16.39	15.75	22.66	16.88	.....	22.16
7	7.90	5.30	6.33	0.85	4.39	4.40	21.28	0.00	17.34	16.88	11.20	6.48	4.95	6.54	8.75	8.67	.....	13.06
8	13.69	13.07	13.56	17.01	13.05	15.53	4.02	17.34	0.00	0.52	9.46	18.04	12.50	11.74	19.42	13.69	.....	19.54
9	13.18	12.66	13.19	16.53	12.60	15.14	4.52	16.88	0.52	0.00	9.22	17.69	12.05	11.23	19.11	13.40	.....	19.34
10	12.54	5.90	5.31	11.31	7.23	7.66	12.47	11.20	9.46	9.22	0.00	9.26	6.77	9.15	10.21	4.43	.....	10.15
11	13.33	5.53	4.52	7.23	6.86	3.23	21.50	6.48	18.04	17.69	9.26	0.00	7.11	10.69	2.34	4.95	.....	6.68
12	6.92	1.89	3.59	4.80	0.56	3.90	16.39	4.95	12.50	12.05	6.77	7.11	0.00	3.75	9.28	5.93	.....	12.17
13	3.42	5.63	7.31	5.92	3.86	7.47	15.75	6.54	11.74	11.23	9.15	10.69	3.75	0.00	12.94	9.52	.....	15.91
14	15.65	7.56	6.26	9.53	9.08	5.48	22.66	8.75	19.42	19.11	10.21	2.34	9.28	12.94	0.00	5.78	.....	4.80
15	12.82	4.14	2.50	9.08	6.10	4.35	16.88	8.67	13.69	13.40	4.43	4.95	5.93	9.52	5.78	0.00	.....	6.69
n	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....	.....
100	22.836	19.03	10.29	8.61	13.76	12.17	9.05	22.16	13.06	19.54	19.34	10.15	6.68	12.17	15.91	4.80	.....	0,00

4.2.3 Waktu Tempuh

PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul untuk menentukan rute distribusi menggunakan waktu tempuh untuk mengetahui waktu total perjalanan yang akan dibutuhkan dari titik koordinat, sehingga dibutuhkan untuk menghitung, ada berapa toko yang bisa dilayani dengan batasan – batasan waktu kerja selama 480 menit. Waktu tempuh yang diperoleh dengan cara membagi jarak tempuh dengan kecepatan rata–rata kendaraan pada saat melakukan distribusi produk. Berikut merupakan contoh perhitungan waktu tempuh yang digunakan untuk mengetahui lama tempuh dari distributor ke customer 1:

Kecepatan rata-rata: 50 km/jam

Jarak: 8,79 km

Rumus perhitungan: $\frac{Jarak\ Tempuh}{Kecepatan\ rata{-}rata} = \frac{8,79}{50}$ = 0.1758 jam = 10,548 menit

4.2.4 Proses Evolutionary Algorithm

Evolutionary Algorithm digunakan untuk melakukan proses *clustering* dengan mengupayakan untuk mengelompokkan data, observasi, atau mengelompokan objek ke dalam kelas yang sama, proses *clustering* dengan melakukan pengelompokkan toko-toko ke dalam masing-masing kendaraan yang secara optimal dengan tetap melakukan pertimbangan pada batasan waktu kerja, kapasitas dan efisiensi kendaraan.

1. Memasukan titik koordinat Lat dan Long

Pada perhitungan yang dilakukan menggunakan rumus dari *Haversine,* maka data Lat-Long berada pada permukaan melengkung atau tidak tegak lurus. Berikut merupakan titik koordinat dari LatLong yang digunakan pada data:

Tabel 4. 6 Data Koordinat

Id	Customer	Latitude	Longitude
0	Main Hub	-7.81	110.30
1	Customer 1	-7.83	110.38
2	Customer 2	-7.83	110.39
3	Customer 3	-7.78	110.36
4	Customer 4	-7.82	110.36
5	Customer 5	-7.81	110.39
6	Customer 6	-7.97	110.32
7	Customer 7	-7.78	110.37
8	Customer 8	-7.93	110.32
9	Customer 9	-7.93	110.32
10	Customer 10	-7.88	110.39

Id	Customer	Latitude	Longitude
11	Customer 11	-7.80	110.42
12	Customer 12	-7.83	110.36
13	Customer 13	-7.83	110.33
14	Customer 14	-7.80	110.44
15	Customer 15	-7.85	110.41
16	Customer 16	-7.90	110.42
17	Customer 17	-7.79	110.35
18	Customer 18	-7.85	110.35
19	Customer 19	-7.96	110.30
20	Customer 20	-7.94	110.25
21	Customer 21	-7.84	110.24
22	Customer 22	-7.81	110.42
23	Customer 23	-7.86	110.42
24	Customer 24	-7.84	110.43
25	Customer 25	-7.81	110.35
26	Customer 26	-7.83	110.36
27	Customer 27	-7.90	110.47
28	Customer 28	-7.81	110.34
29	Customer 29	-7.88	110.38
30	Customer 30	-7.87	110.39
31	Customer 31	-7.83	110.42
32	Customer 32	-7.81	110.36
33	Customer 33	-7.80	110.40
34	Customer 34	-7.78	110.38
35	Customer 35	-7.97	110.27
36	Customer 36	-7.82	110.37
37	Customer 37	-7.81	110.39
38	Customer 38	-7.85	110.39
39	Customer 39	-7.88	110.35
40	Customer 40	-7.85	110.34
41	Customer 41	-7.88	110.42
42	Customer 42	-7.82	110.28
43	Customer 43	-7.78	110.37
44	Customer 44	-7.90	110.30
45	Customer 45	-7.85	110.39
46	Customer 46	-7.87	110.40
47	Customer 47	-7.80	110.39
48	Customer 48	-7.85	110.41
49	Customer 49	-7.88	110.31
50	Customer 50	-7.92	110.39
51	Customer 51	-7.84	110.47
52	Customer 52	-7.94	110.37

Id	Customer	Latitude	Longitude
53	Customer 53	-7.78	110.37
54	Customer 54	-7.88	110.42
55	Customer 55	-7.88	110.43
56	Customer 56	-7.81	110.26
57	Customer 57	-7.93	110.31
58	Customer 58	-7.87	110.35
59	Customer 59	-7.94	110.37
60	Customer 60	-7.81	110.41
61	Customer 61	-7.88	110.33
62	Customer 62	-7.89	110.33
63	Customer 63	-7.94	110.34
64	Customer 64	-7.84	110.34
65	Customer 65	-7.81	110.34
66	Customer 66	-7.81	110.36
67	Customer 67	-7.81	110.38
68	Customer 68	-7.80	110.36
69	Customer 69	-7.91	110.29
70	Customer 70	-7.83	110.37
71	Customer 71	-7.84	110.44
72	Customer 72	-7.80	110.36
73	Customer 73	-7.80	110.34
74	Customer 74	-7.82	110.39
75	Customer 75	-7.92	110.38
76	Customer 76	-7.81	110.37
77	Customer 77	-7.91	110.34
78	Customer 78	-7.83	110.50
79	Customer 79	-7.97	110.32
80	Customer 80	-7.83	110.25
81	Customer 81	-7.80	110.34
82	Customer 82	-7.88	110.33
83	Customer 83	-7.83	110.37
84	Customer 84	-7.80	110.37
85	Customer 85	-7.80	110.35
86	Customer 86	-7.89	110.34
87	Customer 87	-7.88	110.33
88	Customer 88	-7.92	110.29
89	Customer 89	-7.78	110.37
90	Customer 90	-7.86	110.35
91	Customer 91	-7.87	110.36
92	Customer 92	-7.83	110.32
93	Customer 93	-7.81	110.38
94	Customer 94	-7.98	110.32

Id	Customer	Latitude	Longitude
95	Customer 95	-7.82	110.48
96	Customer 96	-7.88	110.37
97	Customer 97	-7.91	110.37
98	Customer 98	-7.88	110.41
99	Customer 99	-7.82	110.33
100	Customer 100	-7.84	110.47

2. Membuat Matrix Waktu Tempuh

Mengetahui informasi waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan masalah VRP sangat penting. Waktu tempuh antara dua lokasi ditunjukkan oleh nilai masing-masing baris dan kolom. Misalnya, baris gudang dan kolom retail 1 menunjukkan waktu tempuh antara gudang dan retail 1. Selain itu, matriks ini akan membantu algoritma mengevaluasi efisiensi rute yang dibentuk dengan tujuan untuk mengurangi waktu tempuh seluruh kendaraan secara keseluruhan sambil mempertahankan batasan seperti kapasitas kendaraan dan waktu pelayanan pelanggan. Gambar berikut menunjukkan bentuk matriks waktu yang telah dibuat dengan menggunakan perhitungan jarak *Haversine*:

Tabel 4. 7 Matriks Waktu Tempuh

Time Mtx	Warehouse	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	n	100
Warehouse	0.000	10.544	12.598	8.500	8.235	12.256	21.148	9.477	16.432	15.811	15.046	15.992	8.298	4.109	18.782	15.384	……	22.836
1	10.544	0.000	2.056	6.556	2.358	3.020	20.159	6.364	15.682	15.194	7.079	6.634	2.263	6.756	9.077	4.964	……	12.345
2	12.598	2.056	0.000	8.001	4.402	2.819	20.520	7.596	16.268	15.832	6.373	5.422	4.306	8.770	7.512	3.000	……	10.327
3	8.500	6.556	8.001	0.000	5.105	5.913	25.169	1.018	20.412	19.841	13.578	8.678	5.765	7.106	11.436	10.898	……	16.513
4	8.235	2.358	4.402	5.105	0.000	4.361	20.328	5.262	15.655	15.114	8.681	8.234	0.673	4.635	10.896	7.315	……	14.604
5	12.256	3.020	2.819	5.913	4.361	0.000	23.042	5.276	18.639	18.165	9.188	3.874	4.684	8.965	6.574	5.220	……	10.857
6	21.148	20.159	20.520	25.169	20.328	23.042	0.000	25.532	4.818	5.426	14.960	25.799	19.664	18.902	27.194	20.254	……	26.588
7	9.477	6.364	7.596	1.018	5.262	5.276	25.532	0.000	20.811	20.252	13.442	7.771	5.935	7.846	10.501	10.401	……	15.676
8	16.432	15.682	16.268	20.412	15.655	18.639	4.818	20.811	0.000	0.622	11.349	21.653	14.999	14.084	23.305	16.430	……	23.452
9	15.811	15.194	15.832	19.841	15.114	18.165	5.426	20.252	0.622	0.000	11.069	21.230	14.462	13.477	22.931	16.083	……	23.211
10	15.046	7.079	6.373	13.578	8.681	9.188	14.960	13.442	11.349	11.069	0.000	11.109	8.122	10.980	12.250	5.322	……	12.178
11	15.992	6.634	5.422	8.678	8.234	3.874	25.799	7.771	21.653	21.230	11.109	0.000	8.536	12.831	2.814	5.937	……	8.019
12	8.298	2.263	4.306	5.765	0.673	4.684	19.664	5.935	14.999	14.462	8.122	8.536	0.000	4.504	11.134	7.115	……	14.607
13	4.109	6.756	8.770	7.106	4.635	8.965	18.902	7.846	14.084	13.477	10.980	12.831	4.504	0.000	15.525	11.419	……	19.094
14	18.782	9.077	7.512	11.436	10.896	6.574	27.194	10.501	23.305	22.931	12.250	2.814	11.134	15.525	0.000	6.940	……	5.764
15	15.384	4.964	3.000	10.898	7.315	5.220	20.254	10.401	16.430	16.083	5.322	5.937	7.115	11.419	6.940	0.000	……	22.836
n	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..	…..
100	22.836	12.345	10.327	16.513	14.604	10.857	26.588	15.676	23.452	23.211	12.178	8.019	14.607	19.094	5.764	8.029	……	0,000

3. Membuat Pengelompokan Toko

Pada bagian tahap ini melakukan pembuatan dari *tabel* yang berfungsi membagi toko untuk setiap truknya dengan tidak melebihi batasan-batasan yang tidak boleh melebihi batasnya atau melanggar, seperti lamanya jam kerja dan beban muatan yang dapat diangkut oleh setiap truknya. Berikut merupakan bentuk dari *tabel* pengelompokan tokonya:

Tabel 4. 8 Pembagian Toko

Truck	1

Route	Truck	Trcuk Route	Time	service Time	Demand
0		0			
1	1	1	10.5437	15.54372816	172.22
2	2	1	0	0	0
3	3	1	0	0	0
4	1	4	2.35775	7.35774539	94.98
5	2	4	0	0	0
6	3	4	0	0	0
7	1	7	5.2621	10.26209788	150.13
8	2	7	0	0	0
9	3	7	0	0	0
10	1	10	13.4415	18.44152973	244.54
11	2	10	0	0	0
12	3	10	0	0	0
13	1	13	10.9797	15.97966067	218.75
14	2	13	0	0	0
15	3	13	0	0	0
n	…..	…..	…..	…..	…..
100	1	100	16.6306	21.63055947	18.24

Pada tabel diatas merupakan contoh dari bentuk data yang belom diolah menggunakan EA, sehingga data diatas merupakan data yang belum dibagi sebagai berikut:

1. *Route*

Pada bagian ini melakukan penomoran untuk urutan titik kunjungan pelanggan dalam seluruh proses rute distribusi. Misalnya dari nomor satu hingga nomor seratus, nilai yang ditunjukan termasuk titik awal dan akhir, yaitu distributor berangka nol. Kemudian, melakukan solver sehingga nilai tidak akan urut, tetapi sudah dikelompokan sesuai dengan truk yang ada.

2. *Truck*

Pada bagian ini menunjukkan nomor kendaraan (truk) atau identitas yang akan digunakan untuk truk kode apa saja yang mengantar produk ke toko yang sudah dikelompokan.

3. *Truck Route*

Menunjukan urutan kunjungan titik dalam rute khusus untuk truk tersebut. Misalnya, *Truck Route* = 1 berarti itu titik pertama yang dikunjungi oleh truk tersebut.

4. *Time*

Pada bagian ini menjelaskan fungsi waktu dalam bentuk angka, berapa lama waktu yang dibutuhkan suatu truk untuk melakukan pengiriman dari satu titik koodirnat ke koordinat lainnya. Selain itu, satuan angka pada kolom *time* yaitu menit.

5. *Service Time*

Pada kolom ini menjelaskan sebagai penambahan waktu, jika truk sampai di toko tujuan mereka memiliki waktu tambahan untuk melakukan *loading* atau menurunkan barang dari truk, untuk waktu yang dibutuhkan 5 – 7 menit.

6. *Demand*

Pada bagian ini menunjukan untuk memberikan penjelasan terkait setiap toko memliki jumlah permintaan barang dari pelanggan di titik tersebut, untuk dalam satuan yang digunakan Kg. Ini penting untuk menghitung beban truk yang tidak boleh melebihi kapasitas dari muatan truk tersebut.

4. Membuat *tabel* Total *Time* dan Total *Demand*

Pada tahap ini akan dilakukan pembuatan *tabel* pada Total *Time* dan Total *Demand.* Total *Time* digunakan untuk menhitung jumlah waktu ayng dibutuhkan untuk mengirim dan menurunkan barang untuk setiap truk. Total *Demand* digunakan untuk menghitung banyak muatan yang akan diangkut setiap truk tanpa melebihi kapasitas kendaraan yang tersedia. Kedua tabel di atas berbentuk sebagai berikut:

Tabel 4. 9 Total Time

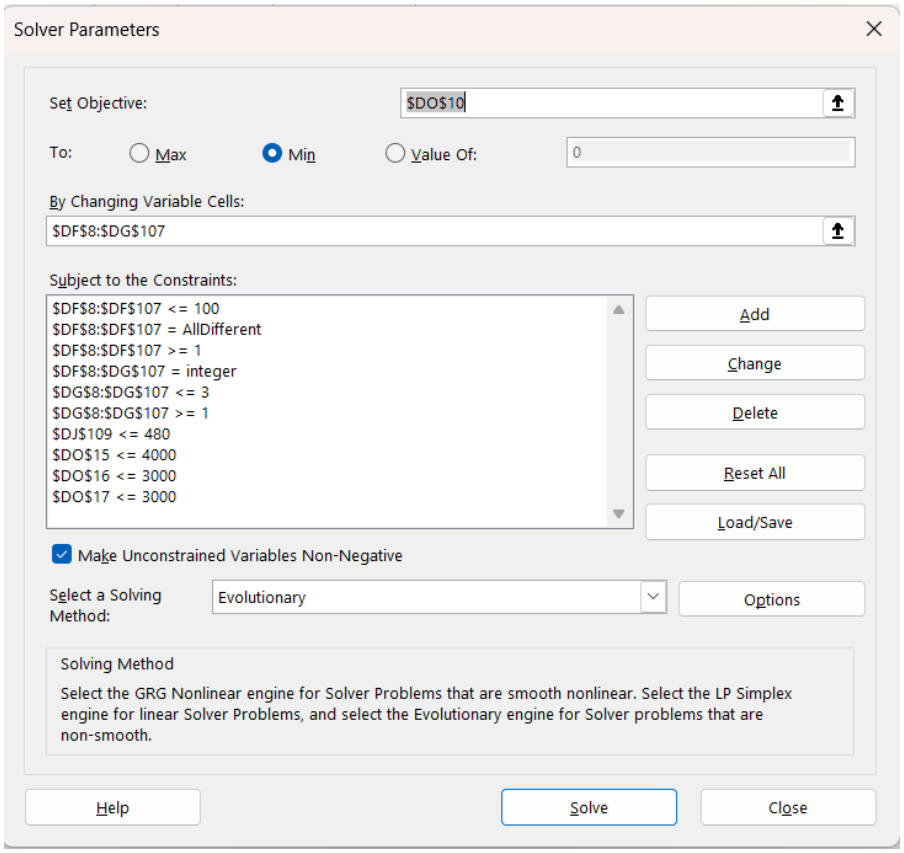
Truck	**Time**
1	N
2	N
3	N
Total time.	**N**

Tabel 4. 10 Tota Load

Truck	Load
1	N
2	N
3	N
Total Load	N

5. *Solver*

Pada tahap selanjutnya akan dilakukan pengelompokan toko dengan solver. Mengurangi waktu tempuh akan menjadi hal utama. Kemudian ada batasan yang tidak boleh dilanggar, setiap truk hanya boleh mengunjungi satu toko, setiap truk harus memiliki toko yang berbeda, truk satu tidak boleh mengangkut dari 4 ton, truk 2 dan 3 tidak boleh mengangkut lebih dari 3 ton, dan setiap kendaraan hanya boleh beroperasi selama kurang dari 480 menit atau 8 jam. Berikut merupakan bentuk dari solver:



Gambar 4. 3 Solver

Berdasarkan hasil dari Gambar 4.3 didapatkan hasil untuk truk 1 membutuhkan waktu distribusi selama 897 menit dan total berat 3833 Kg dari maksimal total muatan 4000 Kg, truk 2 membutuhkan waktu distribusi selama 697 menit dan total muatan 3733 Kg dari maksimal total muatan 3000 Kg, dan truk 3 membutuhkan waktu distribusi selama 476 menit dan total muatan 2948 Kg dari maksimal total muatan 3000 Kg. Dari hasil perhitungan yang didapat untuk truk 2 akan dilakukan penundaan dalam pengriman yang akan dikirimkan keesokan harinya dengan jumlah toko 15 toko. Berikut hasil pengelompokkan yang sudah dilakukan pemotongan jumlah toko untuk truk 2:

Tabel 4. 11 Pembagian Toko

Truck	Customer
1	0-61-49-17-30-37-10-40-56-2-58-54-41-44-92-89-88-60-51-20-85-27-70-84-74-73-57-21
2	0-16-46-95-39-33-12-76-9-15-59-83-71-34-47-75-4-14-78-93-69-67-94-90-1-50-62-48
3	0-3-81-68-91-32-18-82-31-13-11-96-6-97-19-63-53-28-7-64-98-65-38-100-99-79-66-5-42-25-23-24

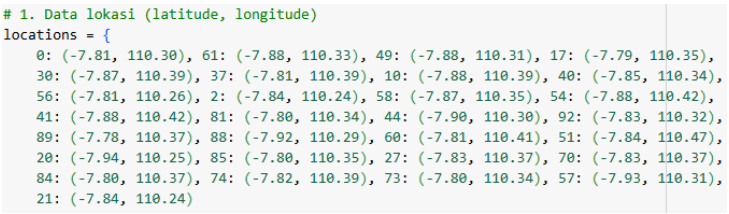
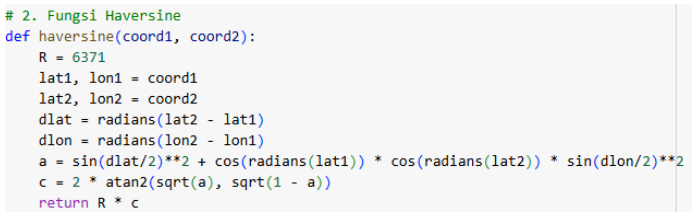
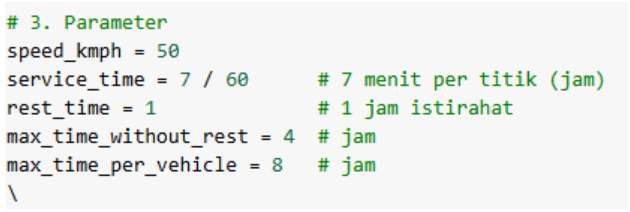
4.2.5 Proses *Christofides Algorithm*

Christofides Agorithm digunakan untuk menentukan urutan toko mana saja yang dikunjungi dalam setiap *cluster* yang sudah dibentuk oleh EA, yang bertujuan untuk setiap rute yang dikunjungi menjadi lebih efisien dari sisi jarak tempuh dan waktu distribusi. Metode ini memungkinkan masing-masing kendaraan mendapatkan kelompokan toko yang sesuai dengan batasan operasionalnya dan urutan pengantaran yang ideal, yang menghasilkan sistem distribusi yang lebih hemat waktu secara keseluruhan. Berikut merupakan langkah-langkah proses pembuatan rute *Christofides Algorithm*:

1. Pembuatan Setiap Urutan *Customer*

Tabel 4. 12 *Chirstofides Algorithm*

pseudocode	**Fungsi**
`import math`	Fungsi dari *pseudocode* tahap ini untuk menyediakan fungsi matematika seperti akar kuadrat, sinus, atau

pseudocode	Fungsi
	konversi derajat-radian yang biasanya diperlukan untuk menghitung jarak antar titik. Fungsi dari *pseudocode* adalah untuk memasukan titik koordinat (Latitude, Longitude) dengan toko-toko yang sudah dikelompokan berdasarkan hasil dari EA untuk toko yang digunakan adalah untuk truk 1.
	Fungsi dari *pseudocode* ini adalah untuk menghitung jarak tempuh antara satu titik koordinat ke titik lainnya. Untuk perhitungan yang digunakan menggunakan rumus *Haversine*.
	Fungsi dari *pseudocode* ini adalah batasan-batasan yang diberikan, seperti kecepatan rata-rata kendaraan 50 km/jam, waktu pelayan setiap toko selama 7 menit, waktu istitrahat selama 1 jam,

pseudocode	Fungsi
	dan waktu kerja selama 8 jam.
	Fungsi dari tahap MST adalah untuk membuta graf yang menghubungkan semua titik dengan total bobot (jarak) minimum tanpa membentuk siklus, dengan tujuan mendapatkan koneksi dasar antar titik.
	Fungsi dari *pseudocode* disamping berfungsi untuk menemukan simpul dengan derajat ganjil, beberapa simpul (node) akan punya derajat ganjil (jumlah sisi yang terhubung bernilai ganjil) berderajat ganjil inilah yang nanti akan di pasangkan.
	Fungsi dari *pseudocode* disamping untuk menggabungkan jalur dari MST dan *Perfect Matching* pada algoritma christofides. Semua edge dari MST ditambahkan ke graf baru, lalu tiap

```
# 5. Minimum Spanning Tree (MST)
T = nx.minimum_spanning_tree(G)
```

```
# 6. Simpul berderajat ganjil
odd_nodes = [v for v, d in T.degree() if d % 2 == 1]

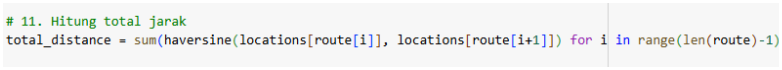
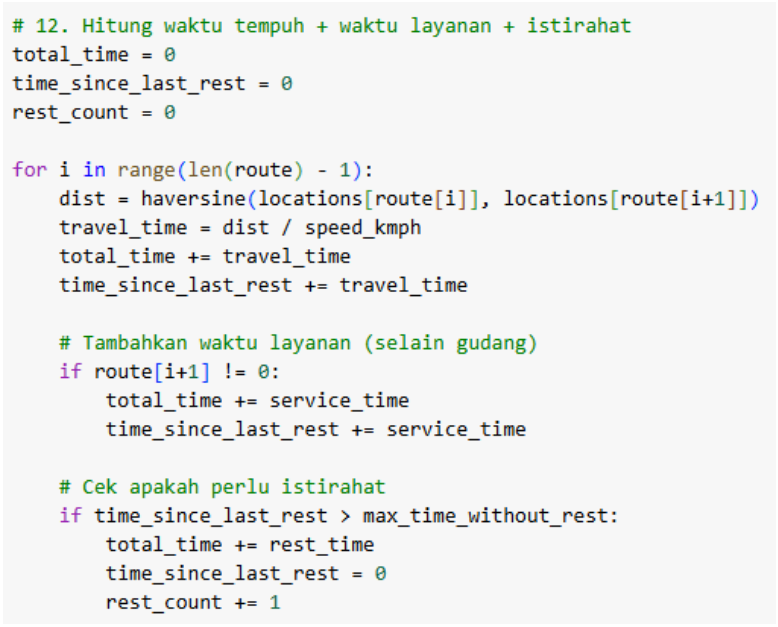
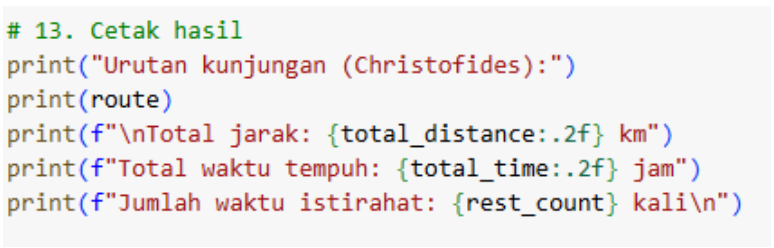
# 7. Matching minimum pada simpul ganjil
M = nx.Graph()
for i in odd_nodes:
    for j in odd_nodes:
        if i < j:
            dist = haversine(locations[i], locations[j])
            M.add_edge(i, j, weight=dist)

matching = nx.algorithms.matching.min_weight_matching(M)
```

```
# 8. Gabungkan MST dan Matching
multigraph = nx.MultiGraph()
multigraph.add_edges_from(T.edges(data=True))
for u, v in matching:
    dist = haversine(locations[u], locations[v])
    multigraph.add_edge(u, v, weight=dist)
```

pseudocode	Fungsi
	pasangan titik hasil matching dihitung jaraknya dengan rumus *haversine* dan ditambahkan edge baru, sehingga terbentuk graf dengan kemungkinan jalur ganda yang siap dipakai untuk membuat lintasan Eulerien.
`# 9. Eulerian circuit` `euler = list(nx.eulerian_circuit(multigraph, source=0))`	Fungsi dari *Pseudocode* disamping merupakan untuk membuat jalur yang melewati setiap sisi tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Proses ini memastikan rute dapat dilalui secara berkesinambungan tanpa terputus.berkesinambungan tanpa terputus.

`# 10. Hamiltonian path`
`visited = set()`
`route = []`
`for u, v in euler:`
`  if u not in visited:`
`  visited.add(u)`
`  route.append(u)`
`route.append(0)  # kembali ke gudang`
	Fungsi dari *Pseudocode* disamping merupakan kode tersebut mengubah lintasan *Eulerian* menjadi *Hamiltonian Path* dengan mencatat kembali tidak ada jalur atau toko yang tidak terlewat dikunjungi, lalu menutup rute kembali ke gudang di akhir.

pseudocode	Fungsi
	Fungsi pada *Pseudocode* disamping adalah menghitung total jarak (km) tempuh yang dilakukan truk 1 pada pendistribusian produk ke setiap toko-toko yang dikunjungi.
	Fungsi pada *Pseudocode* disamping adalah untuk menghitung total waktu perjalanan distribusi dengan menjumlahkan waktu tempuh, waktu layanan di pelanggan, dan waktu istirahat jika melewati batas kerja.
	Fungsi pada *Pseudocode* disamping adalah memberikan hasil akhir untuk urutan rute dilakukan oleh algoritma christofides.

2. Pembuatan Hasil Visualisasi

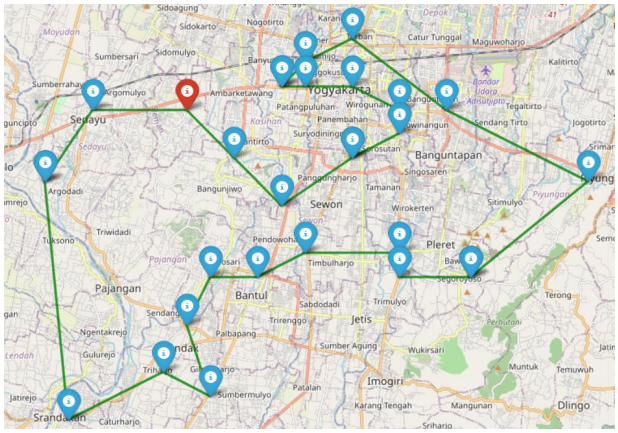
Tabel 4. 13 Visualisasi

pseudocode	**Fungsi**
`import folium`	Fungsi dari *pseudocode* disamping adalah untuk memanggil Pustaka folium, yaitu *library python* yang digunakan untuk menampilkan peta interakhtif berbasis data lat dan long langsung dari *phyton*.

`# Data koordinat`
`data = {`
`0: (-7.81, 110.30), 56: (-7.81, 110.26), 2: (-7.83, 110.39), 21: (-7.84, 110.24),`
`20: (-7.94, 110.25), 88: (-7.92, 110.29), 57: (-7.93, 110.31), 44: (-7.90, 110.30),`
`49: (-7.88, 110.31), 61: (-7.88, 110.33), 58: (-7.87, 110.35), 40: (-7.85, 110.34),`
`27: (-7.83, 110.37), 70: (-7.83, 110.37), 74: (-7.82, 110.39), 37: (-7.81, 110.39),`
`84: (-7.80, 110.37), 89: (-7.78, 110.37), 17: (-7.79, 110.35), 85: (-7.80, 110.35),`
`73: (-7.80, 110.34), 81: (-7.80, 110.34), 68: (-7.80, 110.36), 51: (-7.84, 110.47),`
`54: (-7.88, 110.42), 41: (-7.88, 110.42), 10: (-7.88, 110.39), 30: (-7.87, 110.39),`
`92: (-7.84, 110.24)`
`}`
	Fungsi dari *pseudocode* disamping adalah memasukkan data berupa urutan toko dengan titik koordinat yang sudah sesuai dengan dihasilkan oleh algoritma christofides.

`# Visualisasi peta`
`m = folium.Map(location=data[0], zoom_start=12)`
 	
`# Titik-titik`
`for i in data:`
`color = 'red' if i == 0 else 'blue'`
`folium.Marker(location=data[i], popup=f"ID: {i}", icon=folium.Icon(color=color)).add_to(m)`
 	
`# Gambar rute`
`for i in range(len(route)-1):`
`folium.PolyLine([data[route[i]], data[route[i+1]]], color='green').add_to(m)`
 	
`m`
	Fungsi dari *pseudocode* disamping untuk membuat peta interaktif dengan Folium, memusatkan tampilan pada titik awal, menandai setiap loklasi dengan marker berwarna merah untu titik awal dan biru untuk titik lainnya, lalu menggambar garis hijau

sehingga rute dapat terlihat jelas di peta.



Gambar disamping adalah hasil bentuk rute yang baru untuk truk 1 sehingga dapat mendisribusikan produk PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul.

4.2.1 Hasil Rute Terbaik

Hasil dari pengolahan data yang sudah dilakukan menggunakan algoritma chiristofides untuk menentukan rute terbaik. Berdasarkan hasil *clustering* yang dilakukan sebelumnya oleh *Evolutionary Algorithm* sehingga menghasilkan solusi optimal dengan membentuk 3 rute yang dimana untuk truk 1 mengangkut sebanyak 27 *customer,* untuk truk 2 mengangkut sebanyak 27 *customer,* dan untuk truk 3 mengangkut sebanyak 31 *customer* dengan total *customer* 85. Berikut merupakan hasil akhir rekapitulasi rute yang dihasilkan meliputi jarak (km) dan waktu tempuh dari masing-masing kendaraan pada PT. Frisian Flag Distributro Bantul:

Tabel 4. 14 Hasil Urutan Distribusi

Truk	Rute	Total Jarak
Truk 1	0 – 56 – 2 - 21 – 20 – 88 – 57 – 44 - 49 – 61 – 58 – 40 – 27 – 70 – 74 – 37 – 84 – 89 – 17 – 85 – 73 – 60 - 51 – 54 – 41 – 10 – 30 – 92	90,11 km
Truk 2	0 – 4 – 76 - 93 – 67 – 47 – 34 – 33 - 14 – 78 – 95 – 71 – 15 – 1 – 83 – 12 – 48 – 46 – 16 – 50 – 75 – 59 – 94 – 9 - 69 – 62 – 39 - 90	92,63 km
Truk 3	0 – 99 – 28 - 65 – 81 – 25 – 32 – 66 - 7 – 53 – 3 – 68 – 5 – 11 – 100 – 24 – 23 – 98 – 38 – 91 – 82 – 19 – 6 – 79 – 63 – 97 – 96 – 18 – 64 – 31 – 13 – 42	95,74 km

4.2.2 Verifikasi dan Validasi Rute Distribusi

Pada tahap ini verifikasi dan validasi berperan penting untuk memastikan bahwa model simulasi yang dikembangkan dapat menggambarkan sistem nyata. Penulisan tugas akhir ini melakukan verifikasi untuk memastikan model algoritma distribusi yang dibangun mencakup logika pembentukan cluster dengan *Evolutionary Algorithm* dan penentuan urutan rute dengan menggunakan *Christofides Algorithm* yang sudah diterjemahkan dengan benar ke dalam bahasa pemrograman. Setelah model divalidasi, proses validasi dimulai. Ini berarti membandingkan hasil simulasi dengan sistem distribusi nyata. Untuk menentukan apakah terdapat perbedaan signifikan antara performa sistem nyata dan hasil model simulasi, validasi dilakukan dengan menggunakan uji kesamaan dua rata-rata (t-test) dan uji kesamaan dua variansi (F-test).

1. Verifikasi

   Pada tugas akhir ini, verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model algoritma distribusi yang sudah dibangun telah diimplementasikan ke dalam program dengan benar. Memeriksa input data, menghitung jarak antar titik dengan rumus *Haversine*, dan menerapkan batasan-batasan seperti jam kerja maksimal, waktu istirahat, kapasitas kendaraan, waktu pelayanan, dan jumlah kunjungan maksimal adalah semua bagian dari proses verifikasi. Selain itu, logika *Evolutionary Algorithm* dan *Christofides Algorithm* diuji, serta kesesuaian *output* program dengan data yang digunakan. Hasil dari verifikasi menunjukkan bahwa modelk sesuai dengan ide yang dirancang dan siap untuk proses validasi.

2. Validasi

   Salah satu tahap terpenting dalam proses pembangunan model simulasi adalah validasi model ini dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi model dengan data dari sistem distribusi rill untuk mengetahui seberapa baik model dapat meniru perilaku sistem nyata dari segi performa waktu tempuh pelanggan. Melakukan validasi membulktikan secara statistik keandalan model dalam menyediakan solusi terbaik untuk masalah distribusi. Berikut merupakan dua uji yang sudah dilakukan yaitu uji kesamaan dua rata-rata dan uji kesamaan variansi sebagai berikut:

No	Output Historis	Output Simulasi
1	10	21.148
2	30	15.653
3	39	20.168
4	29	13.816
5	9	5.341
6	7	2.058
7	8	4.393
8	7	2.903
9	7	2.400
10	7	3.381
11	3	2.767
12	15	18.056
13	1	16.780
14	12	3.264
15	2	0.902
16	10	2.515
17	8	2.871
18	13	3.090
19	5	1.594
20	5	2.392
21	1	1.085
22	6	2.091
23	34	21.781
24	19	18.056
25	1	0.637
26	10	3.320
27	2	1.257
28	30	20.799
29	15	7.846

MEAN DAN STANDAR DEVIASI

	Mean	SD (V)	N
Output Simulasi	7.668	7.640834	29
Output Historis	11.89655	10.6044	29

1. Menentukan Hipotesis

H0	Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata
H1	Hasil simulasi tidak sesuai dengan hasil riil p

2. Tingkat kepercayaan

a	0.05
a/2	0.025
Ttabel	2.06

H0 diterima / H1 ditolak jika -2,048< Thitung < 2,048
H0 ditolak / H1 diterima jika Thitung < -2,048 atau Thitung > 2,048

3. Statistik Uji

Mencari Nilai Thitung	
Sp^2	85.41778
Thitung	-1.74236

Mencari Nilai T hitung

$$Sp^2 = \frac{(N_1 - 1)V_1^2 + (N_2 - 1)V_2^2}{N_1 + N_2 - 2}$$

$$\text{T hitung} = \frac{\text{Mean 1} - \text{Mean 2}}{\sqrt{Sp^2 * (\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2})}}$$

4. Hasil Uji Dua Rata-Rata

Ttabel	Thitung	Ttabel
-2.06	-1.74236	2.06

KEPUTUSAN	H0 DITERIMA
	Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata

Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

Gambar 4. 4 Uji Kesamaan Rata-Rata *Route* 1

No	Output Historis	Output Simulasi
1	10	21.148
2	30	15.653
3	39	20.168
4	29	13.816
5	9	5.341
6	7	2.058
7	8	4.393
8	7	2.903
9	7	2.400
10	7	3.381
11	3	2.767
12	15	18.056
13	1	16.780
14	12	3.264
15	2	0.902
16	10	2.515
17	8	2.871
18	13	3.090
19	5	1.594
20	5	2.392
21	1	1.085
22	6	2.091
23	34	21.781
24	19	18.056
25	1	0.637
26	10	3.320
27	2	1.257
28	30	20.799
29	15	7.846

MEAN DAN STANDAR DEVIASI

	Mean	SD (V)	N
Output Si	7.668	7.640834	29
Output H	11.897	10.6044	29

Menentukan Hipote

H0	simulasi sesuai sistem nyata)
H1	Hasil simulasi tidak sesuai dengan hasil riil p

2. Tingkat kepercay:

a	0.05	
a/2	0.025	0.975
Ftabel	2.100996	0.475965

a / H1 ditolak jika F 0.975 (29, 29) < Fhitung < F 0.02
diterima jika Fhitung > F 0.025 (29, 29) atau Fhitung <

3. Statistik Uji

Mencari Nilai Fhitung	
Fhitung	0.51917

Mencari Nilai F hitung

$$\text{F hitung} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

4. Hasil Uji Dua Variansi

Ftabel	Fhitung	Ftabel
0.475965	0.51917	4.21

KEPUTUSAN	H0 DITERIMA
	Probabilitas semua kejadian sama (Hasil simulasi sesuai sistem nyata)

Uji Kesamaan Dua Variansi

Gambar 4. 5 Uji Kesamaan Variansi *Route* 1

No	Output Historis	Output Simulasi
1	21	21.148
2	6	1.923
3	7	2.230
4	1	1.055
5	8	2.704
6	9	2.485
7	7	8.514
8	14	11.975
9	5	6.920
10	5	2.375
11	14	11.071
12	11	11.637
13	11	11.389
14	6	1.690
15	5	0.849
16	8	8.680
17	5	2.812
18	11	11.410
19	13	12.143
20	4	1.001
21	6	2.557
22	13	12.878
23	10	6.884
24	11	11.515
25	12	11.962
26	8	2.941
27	5	2.951
28	17	6.281
29	13	5.849

MEAN DAN STANDAR DEVIASI

	Mean	SD (V)	N
Output Simulasi	6.822	5.106025	29
Output Historis	9.172414	4.383972	29

1. Menentukan Hipotesis

H0	Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata
H1	Hasil simulasi tidak sesuai dengan hasil riil p

2. Tingkat kepercayaan

a	0.05
a/2	0.025
Ttabel	2.045

H0 diterima / H1 ditolak jika -2,045< Thitung < 2,045
H0 ditolak / H1 diterima jika Thitung < -2,045 atau Thitung > 2,045

3. Statistik Uji

Mencari Nilai Thitung	
Sp^2	22.64535
Thitung	-1.88098

Mencari Nilai T hitung

$$Sp^2 = \frac{(N_1-1)V_1^2 + (N_2-1)V_2^2}{N_1+N_2-2}$$

$$\text{T hitung} = \frac{\text{Mean 1} - \text{Mean 2}}{\sqrt{Sp^2 * (\frac{1}{N_1}+\frac{1}{N_2})}}$$

4. Hasil Uji Dua Rata-Rata

Ttabel	Thitung	Ttabel
-2.045	-1.88098	2.03

KEPUTUSAN	H0 DITERIMA
	Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata

Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

Gambar 4. 6 Uji Kesamaan Rata-Rata *Route* 2

No	Output Historis	Output Simulasi
1	21	21.148
2	6	1.923
3	7	2.230
4	1	1.055
5	8	2.704
6	9	2.485
7	7	8.514
8	14	11.975
9	5	6.920
10	5	2.375
11	14	11.071
12	11	11.637
13	11	11.389
14	6	1.690
15	5	0.849
16	8	8.680
17	5	2.812
18	11	11.410
19	13	12.143
20	4	1.001
21	6	2.557
22	13	12.878
23	10	6.884
24	11	11.515
25	12	11.962
26	8	2.941
27	5	2.951
28	17	6.281
29	13	5.849

MEAN DAN STANDAR DEVIASI

	Mean	SD (V)	N
Output Si	6.822	5.106025	29
Output H	9.172	4.383972	29

Menentukan Hipote

H0	simulasi sesuai sistem nyata)
H1	Hasil simulasi tidak sesuai dengan hasil riil p

2. Tingkat kepercay

a	0.05	
a/2	0.025	0.975
Ftabel	2.100996	0.475965

ıa / H1 ditolak jika F 0.975 (29, 29) < Fhitung < F 0.02
diterima jika Fhitung > F 0.025 (29, 29) atau Fhitung <

3. Statistik Uji

Mencari Nilai Fhitung	
Fhitung	1.356533

Mencari Nilai F hitung

$$\text{F hitung} = \frac{V_1^2}{V_2^2}$$

4. Hasil Uji Dua Variansi

Ftabel	Fhitung	Ftabel
0.475965	1.356533	4.21

KEPUTUSAN	H0 DITERIMA
	Probabilitas semua kejadian sama (Hasil simulasi sesuai sistem nyata)

Uji Kesamaan Dua Variansi

Gambar 4. 7 Uji Kesamaan Dua Variansi *Route* 2

No	Output Historis	Output Simulasi
1	12	12.256
2	6	2.363
3	1	0.872
4	5	1.703
5	5	1.400
6	7	1.023
7	1	0.974
8	16	10.276
9	1	0.799
10	7	1.816
11	12	19.118
12	14	15.015
13	12	12.502
14	17	8.019
15	12	13.458
16	7	3.042
17	10	8.448
18	13	5.088
19	11	5.426
20	10	3.942
21	19	10.78
22	8	4.396
23	1	0.667
24	10	9.945
25	8	5.970
26	5	4.305
27	11	11.104
28	6	2.476
29	24	18.820
30	21	16.041
31	18	10.098
32	7	3.270

MEAN DAN STANDAR DEVIASI

	Mean	SD (V)	N
Output Simulasi	7.044	5.599375	32
Output Historis	9.90625	5.860526	32

1. Menentukan Hipotesis

H0	Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata
H1	Hasil simulasi tidak sesuai dengan hasil riil p

2. Tingkat kepercayaan

a	0.05
a/2	0.025
Ttabel	2.048

H0 diterima / H1 ditolak jika -2,048< Thitung < 2,048
H0 ditolak / H1 diterima jika Thitung < -2,048 atau Thitung > 2,048

3. Statistik Uji

Mencari Nilai Thitung	
Sp^2	32.84938
Thitung	-1.9974

Mencari Nilai T hitung

$Sp^2 = \frac{(N_1-1)V_1^2 + (N_2-1)V_2^2}{N_1+N_2-2}$

T hitung $= \frac{\text{Mean 1} - \text{Mean 2}}{\sqrt{Sp^2 * (\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2})}}$

4. Hasil Uji Dua Rata-Rata

Ttabel	Thitung	Ttabel
-2.048	-1.9974	2.045

KEPUTUSAN	H0 DITERIMA
	Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata

Uji Kesamaan Dua Rata-Rata

Gambar 4. 8 Uji Kesamaan Dua Rata-Rata *Route* 3

No	Output Historis	Output Simulasi
1	12	12.256
2	6	2.363
3	1	0.872
4	5	1.703
5	5	1.400
6	7	1.023
7	1	0.974
8	16	10.276
9	1	0.799
10	7	1.816
11	12	19.118
12	14	15.015
13	12	12.502
14	17	8.019
15	12	13.458
16	7	3.042
17	10	8.448
18	13	5.088
19	11	5.426
20	10	3.942
21	19	10.78
22	8	2.111
23	1	0.667
24	10	9.945
25	8	5.970
26	5	4.305
27	11	11.104
28	6	2.476
29	24	18.820
30	21	16.041
31	18	10.098
32	7	3.270

MEAN DAN STANDAR DEVIASI

	Mean	SD (V)	N
Output Simulasi	6.973	5.648606	32
Output Historis	9.906	5.860526	32

1. Menentukan Hipotesis

H0	simulasi sesuai sistem nyata)
H1	Hasil simulasi tidak sesuai dengan hasil riil p

2. Tingkat kepercayaan 95%

a	0.05	
a/2	0.025	0.975
Ftabel	2.100996	0.475965

erima / H1 ditolak jika F 0.975 (29, 29) < Fhitung < F 0.025 (2
H1 diterima jika Fhitung > F 0.025 (29, 29) atau Fhitung < F 0.

3. Statistik Uji

Mencari Nilai Fhitung	
Fhitung	0.928986

Mencari Nilai F hitung

F hitung $= \frac{V_1^2}{V_2^2}$

4. Hasil Uji Dua Variansi

Ftabel	Fhitung	Ftabel
0.475964774	0.928986	4.17

KEPUTUSAN	H0 DITERIMA
	Probabilitas semua kejadian sama (Hasil simulasi sesuai sistem nyata)

Uji Kesamaan Dua Variansi

Gambar 4. 9 Uji Kesamaan Varian *Route* 3

Berdasarkan hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa untuk ketiga rute, nilai uji statistik masuk kedalam rentang penerimaan H_0, sehingga model simulasi dapat dinyatakan valid. Berikut merupakan hasil dari uji kesamaan dua rata-rata (t-test) dan uji kesamaan dua variansi (F-test):

- Rute 1
  - t-hitung = -1,7423, t-tabel = ±2,06 → |t-hitung| < t-tabel → H_0 diterima
  - F-hitung = 0,51917, F-tabel = 4,21 → F-hitung < F-tabel → H_0 diterima
  - Kesimpulan: Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata
- Rute 2
  - t-hitung = -1,8809, t-tabel = ±2,05 → |t-hitung| < t-tabel → H_0 diterima
  - F-hitung = 1,3565, F-tabel = 4,21 → F-hitung < F-tabel → H_0 diterima
  - Kesimpulan: Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata
- Rute 3
  - t-hitung = -1,9974, t-tabel = ±2,045 → |t-hitung| < t-tabel → H_0 diterima
  - F-hitung = 0,9289, F-tabel = 4,17 → F-hitung < F-tabel → H_0 diterima
  - Kesimpulan: Hasil simulasi sesuai dengan sistem nyata

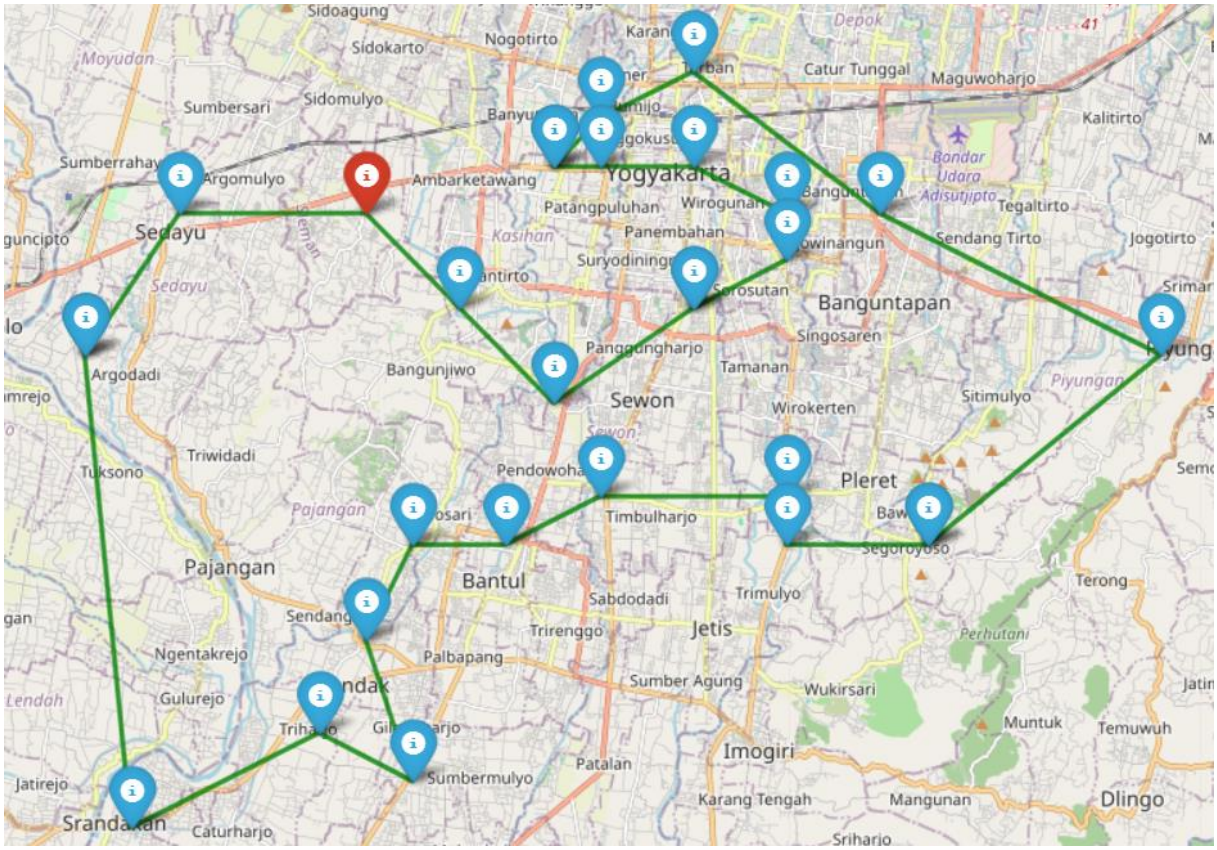
BAB V
PEMBAHASAN

5.1 Analisis Hasil

Hasil dari penerapan dua algoritma yaitu *Evolutionary Algorithm* dan *Christofides Algorithm* dalam penyelesaian masalah jenis *Routing Vehicle Capacitated* (CVRP), yaitu masalah distribusi yang memperhitungkan kapasitas maksimum kendaraan. Selanjutnya, masuk ke dalam *Time-Constrained* VRP (T-VRP) di PT.Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul, dimana algoritma yang digunakan dapat menghasilkan rute distribusi yang efisien. Batasan-batasan seperti jam kerja tidak boleh melebihi 8 jam kerja dan kapasitas angkut tiap kendaraan tidak boleh melebihi kapasitasnya. Dari tiga kendaaraan jenis yaitu satu double box engkol dan dua engkel box, dibuat dengan tiga rute masing-masing sebagai berikut:

1. Rute 1

Berikut merupakan rute pertama yang terbentuk hasil dari pengolahan menggunakan EA dan CA:



Gambar 5. 1 *Route Distribution* 1

Gambar diatas merupakan hasil rute distribusi untuk truk 1, dengan *node* yang berwarna merah merupakan titik awal dan titik akhir rute distribusi atau distributor,dan untuk titik biru merupakan dari titik *csutomer*. Berikut merupakan tabel riniciannya:

Tabel 5. 1 *Route Distribution* 1

Jenis Kendaraan	Id Number	Rute	Demand	Total Muatan
	0	Warehouse	-	
	56	*Customer* 56	146,46	
	2	*Customer* 2	211,48	
	21	*Customer* 21	217,78	
	20	*Customer* 20	168,24	
	88	*Customer* 88	147,36	
	57	*Customer* 57	132,8	
	44	*Customer* 44	260,55	
	49	*Customer* 49	48,48	
	61	*Customer* 61	287,25	
	58	*Customer* 58	90,24	
	40	*Customer* 40	169,3	
	27	*Customer* 27	49,2	
	70	*Customer* 70	27,36	
Double Box	74	*Customer* 74	111,34	3728,14
	37	*Customer* 37	88,98	
	84	*Customer* 84	89,56	
	89	*Customer* 89	18,24	
	17	*Customer* 17	214,96	
	85	*Customer* 85	4,56	
	73	*Customer* 73	27,36	
	60	*Customer* 60	20.88	
	51	*Customer* 51	518,88	
	54	*Customer* 54	54,72	
	41	*Customer* 41	207,2	
	10	*Customer* 10	244,54	
	30	*Customer* 30	95,52	
	92	*Customer* 92	95,74	
	0	Warehouse	-	

Berdasarkan pada tabel diatas terkait distribusi untuk kendaraan jensi *Double Box*, dapat dikeathui untuk rute distribusi dimulai dari titik pusat atau *warehouse* dan kembali ke titik tersebut ketika sudah selesai dalam melakukan pelayanan ke seluruh toko yang sudah di tentukan. Dari hasil pendistribusian total toko yang dikunjungi sebanyak 27 titik pelanggan

dengan total permintaan (*demand*) sebesar 3.728,14 Kg. Rute ini dirancang dengan tujuan tidak melebihi kapasitas maksimum kendaraan dan tetap berada dalam batasan waktu kerja yang sudah ditentukan. Data *demand* yang dilakukan penambahan untuk setiap titik juga membantu memastikan beban muatan dari kendaraan tidak melebihi kapasitas dari kendaraan *Double Box* itu sendiri. Maka dari itu, secara efisien baik dari sisi pemenuhan permintaan maupun pengelolaan muatan.

Berikut merupakan data terkait rincian waktu pengiriman untuk rute 1:

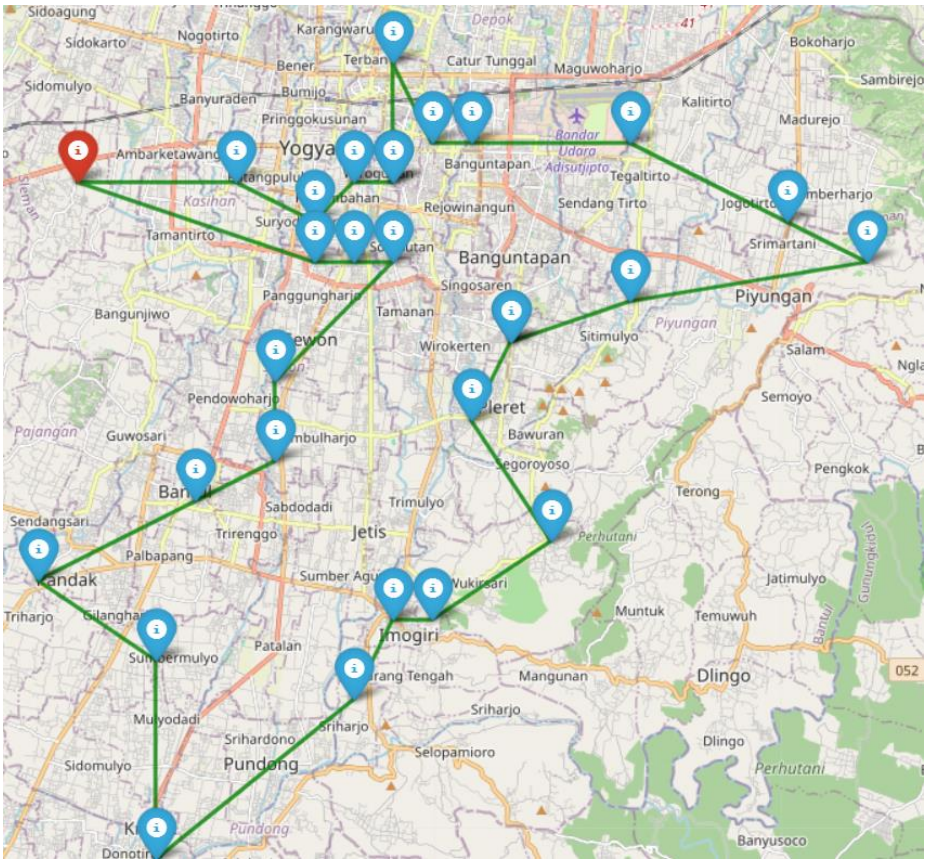
Tabel 5. 2 *Route* 1 Total *Time*

Id Number	Waktu Tempuh	Service Time	Waktu Istirahat	Total Time
0	21,15	28,15		
56	15,65	22,65		
2	20,17	27,17		
21	13,82	20,82		
20	5,34	12,34		
88	2,01	9,01		
57	4,40	11,40		
44	2,90	9,90		
49	2,40	9,40		
61	3,38	10,38		
58	2,77	9,77		
40	3.26	10,26		
27	0.90	7,90		
70	2.51	9,51		
74	2.87	9,87	60	447.32
37	3.09	10,09		
84	1.59	8,59		
89	2.39	9,39		
17	1.08	8,08		
85	2.09	9,09		
73	21.78	28,78		
51	18.06	25,06		
54	0.64	7,64		
41	3.32	10,32		
10	1.26	8,26		
30	20.79	27,79		
92	7.85	14,85		
56	3.26	10,26		

Berdasarkan hasil analisis data diatas untuk tabel tersebut menyajikan informasi urutan kunjungan dalam proses distribusi, dimulai dari titik awal (ID – 0) dengan waktu tempuh 21, 15 menit. Dalam rute ini, satu kali waktu istirahat selama 60 meni, dengan acuan batas waktu kerja 480 menit (pukul 08.00-16.00), total durasi rute yang dihasilkan adalah 436,47 menit, sehingga masih terdapat sisa waktu sekitar 43,13 menit sebelum mencapai batas akhir jam kerja. Waktu sisa ini dapat difungsikan sebagai *safety time* untuk mengantisipasi hambatan di lapangan seperti kemacetan, antrian pelanan di toko, maupun kendala operasional lainnya, oleh karena itu, rute yang disusun dinilai sesuai dengan batasan waktu kerja yang berlaku dan layak dijalankan pada kondisi operasional sebenarnya.

2. Rute 2

Berikut merupakan rute pertama yang terbentuk hasil dari pengolahan menggunakan EA dan CA:



Gambar 5. 2 *Route Distribution* 2

Gambar diatas merupakan hasil rute distribusi untuk truk 2, dengan *node* yang berwarna merah merupakan titik awal dan titik akhir rute distribusi atau distributor,dan untuk titik biru merupakan dari titik *csutomer*. Berikut merupakan tabel riniciannya:

Tabel 5. 3 *Route Distribution* 2

Jenis Kendaraan	Id Number	Rute	Demand	Total Muatan
Engkel Box	0	Warehouse	-	2222,68
	4	*Customer* 4	94,98	
	76	*Customer* 76	205,43	
	93	*Customer* 93	38,24	
	67	*Customer* 67	13,68	
	47	*Customer* 47	54,72	
	34	*Customer* 34	36,48	
	33	*Customer* 33	55,78	
	14	*Customer* 14	174,03	
	78	*Customer* 78	27,36	
	95	*Customer* 95	92,6	
	71	*Customer* 71	73,07	
	15	*Customer* 15	49,2	
	1	*Customer* 1	172,22	
	83	*Customer* 83	80,06	
	12	*Customer* 12	145,6	
	48	*Customer* 48	210,16	
	46	*Customer* 46	161,5	
	16	*Customer* 16	50,47	
	50	*Customer* 50	61,78	
	75	*Customer* 75	22,8	
	59	*Customer* 59	38,26	
	94	*Customer* 94	62,76	
	9	*Customer* 9	75,22	
	69	*Customer* 69	118,24	
	62	*Customer* 62	45,6	
	39	*Customer* 39	41,04	
	90	*Customer* 90	21,4	
	0	Warehouse	-	

Berdasarkan pada tabel diatas terkait distribusi untuk kendaraan jenis *Engkol Box*, dapat dikeathui untuk rute distribusi dimulai dari titik pusat atau *warehouse* dan kembali ke titik tersebut ketika sudah selesai dalam melakukan pelayanan ke seluruh toko yang sudah di tentukan. Dari hasil pendistribusian total toko yang dikunjungi sebanyak 27 titik pelanggan dengan total permintaan (*demand*) sebesar 2.222,42 Kg. Rute ini dirancang dengan tujuan tidak melebihi kapasitas maksimum kendaraan dan tetap berada dalam batasan waktu kerja yang

sudah ditentukan. Data *demand* yang dilakukan penambahan untuk setiap titik juga membantu memastikan beban muatan dari kendaraan tidak melebihi kapasitas dari kendaraan *Engkol Box* itu sendiri. Maka dari itu, secara efisien baik dari sisi pemenuhan permintaan maupun pengelolaan muatan.

Berikut merupakan data terkait rincian waktu pengiriman untuk truk 2:

Tabel 5. 4 *Route* 2 Total *Time*

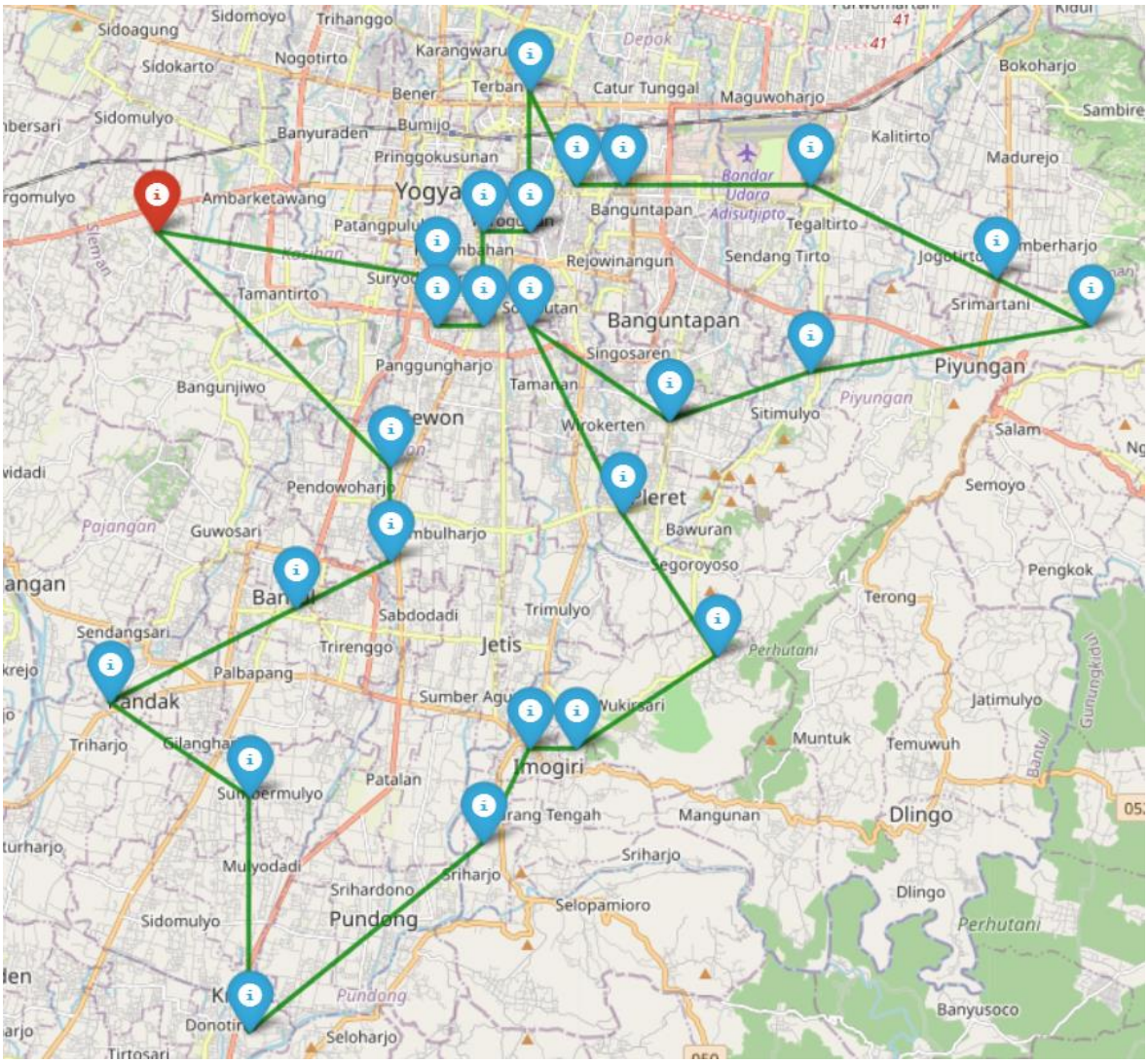
Id Number	Waktu Tempuh	Service Time	Waktu Istirahat	Total Time
0	21,15	28,15		
4	1.92	8,92		
76	2.23	9,23		
93	1.05	8,05		
67	2.70	9,70		
47	2.48	9,48		
34	8.51	15,51		
33	11.97	20,97		
14	6.92	13,92		
78	2.37	9,37		
95	11.07	20,07		
71	11.64	18,64		
15	11.39	18,39		
1	1.69	8,69	60	455.60
83	0.85	9,85		
12	8.68	15,68		
48	2.81	9,81		
46	11.41	18,41		
16	12.14	19,14		
50	1.00	8,00		
75	2.56	9,56		
59	12.87	19,87		
94	6.88	13,88		
9	11.51	18,51		
69	11.96	19,96		
62	2.94	9,94		
39	2.95	9,95		
90	6.28	13,28		

Berdasarkan hasil analisis data diatas untuk tabel tersebut menyajikan informasi urutan kunjungan dalam proses distribusi, dimulai dari titik awal (ID – 0) dengan waktu tempuh 21, 15 menit. Dalam rute ini, satu kali waktu istirahat selama 60 meni, dengan acuan batas waktu

kerja 480 menit (pukul 08.00-16.00), total durasi rute yang dihasilkan adalah 455,60 menit, sehingga masih terdapat sisa waktu sekitar 24,40 menit sebelum mencapai batas akhir jam kerja. Waktu sisa ini dapat difungsikan sebagai *safety time* untuk mengantisipasi hambatan di lapangan seperti kemacetan, antrian pelanan di toko, maupun kendala operasional lainnya, oleh karena itu, rute yang disusun dinilai sesuai dengan batasan waktu kerja yang berlaku dan layak dijalankan pada kondisi operasional sebenarnya.

3. Rute 3

   Berikut merupakan rute pertama yang terbentuk hasil dari pengolahan menggunakan EA dan CA:



Gambar 5. 3 *Route Distribution* 3

Gambar diatas merupakan hasil rute distribusi untuk truk 1, dengan *node* yang berwarna merah merupakan titik awal dan titik akhir rute distribusi atau distributor,dan untuk titik biru merupakan dari titik *csutomer*. Berikut merupakan tabel riniciannya:

Tabel 5. 5 *Route Distribution* 3

	Id Number	**Rute**	**Demand**	**Total Muatan**
	0	Warehouse	-	
	99	*Customer* 99	114,45	
	28	*Customer* 28	142,16	
	65	*Customer* 65	90,46	
	81	*Customer* 81	9,12	
	25	*Customer* 25	95,68	
	32	*Customer* 32	111,22	
	66	*Customer* 66	68,4	
	7	*Customer* 7	150,13	
	53	*Customer* 53	45,6	
	3	*Customer* 3	88,48	
	68	*Customer* 68	9,12	
	5	*Customer* 5	287,2	
	11	*Customer* 11	49,02	
	100	*Customer* 100	18,24	
Engkol Box	24	*Customer* 24	54,72	
	23	*Customer* 23	151,66	2948,28
	98	*Customer* 98	121,28	
	38	*Customer* 38	210,38	
	91	*Customer* 91	4,56	
	82	*Customer* 82	31,92	
	19	*Customer* 19	133,75	
	6	*Customer* 6	106,25	
	79	*Customer* 79	55,56	
	63	*Customer* 63	252,8	
	97	*Customer* 97	4,56	
	96	*Customer* 96	85,76	
	18	*Customer* 18	45,5	
	64	*Customer* 64	22,8	
	31	*Customer* 31	155,92	
	13	*Customer* 13	218,75	
	42	*Customer* 42	85,98	
	0	Warehouse	-	

Berdasarkan pada tabel diatas terkait distribusi untuk kendaraan jenis *Engkol Box*, dapat dikeathui untuk rute distribusi dimulai dari titik pusat atau *warehouse* dan kembali ke titik

tersebut ketika sudah selesai dalam melakukan pelayanan ke seluruh toko yang sudah di tentukan. Dari hasil pendistribusian total toko yang dikunjungi sebanyak 27 titik pelanggan dengan total permintaan (*demand*) sebesar 2.948,28 Kg. Rute ini dirancang dengan tujuan tidak melebihi kapasitas maksimum kendaraan dan tetap berada dalam batasan waktu kerja yang sudah ditentukan. Data *demand* yang dilakukan penambahan untuk setiap titik juga membantu memastikan beban muatan dari kendaraan tidak melebihi kapasitas dari kendaraan *Engkol Box* itu sendiri. Maka dari itu, secara efisien baik dari sisi pemenuhan permintaan maupun pengelolaan muatan.

Berikut merupakan data terkait rincian waktu pengiriman untuk truk 3:

Tabel 5. 6 *Route* 3 Total *Time*

Id Number	Waktu Tempuh	Service Time	Waktu Istirahat	Total Time
0	12,26	19,26		
99	2,36	9,36		
28	0,87	7,87		
65	1,70	8,70		
81	1,40	8,40		
25	1,02	8,02		
32	0,97	7,97		
66	10,27	17,27		
7	0,78	7,78		
53	1,82	8,82		
3	19,12	26,12		
68	15,01	22,01		
5	12,50	19,50		
11	8,02	15,02	60	477.84
100	13,46	20,46		
24	3,04	10,04		
23	8,45	15,45		
98	5,09	12,09		
38	5,43	12,43		
91	3,94	10,94		
82	10,78	17,78		
19	4,39	11,39		
6	0,67	7,67		
79	9,94	16,94		
63	5,97	12,97		
97	4,30	11,30		
96	11,10	18,10		

Id Number	Waktu Tempuh	Service Time	Waktu Istirahat	Total Time
18	2,48	7,48		
64	18,82	25,82		
31	16,04	23,04		
13	10,10	17,10		
42	3,28	10,28		

Berdasarkan hasil analisis data diatas untuk tabel tersebut menyajikan informasi urutan kunjungan dalam proses distribusi, dimulai dari titik awal (ID – 0) dengan waktu tempuh 12, 26 menit. Dalam rute ini, satu kali waktu istirahat selama 60 meni, dengan acuan batas waktu kerja 480 menit (pukul 08.00-16.00), total durasi rute yang dihasilkan adalah 477.84 menit, sehingga masih terdapat sisa waktu sekitar 24,46 menit sebelum mencapai batas akhir jam kerja. Waktu sisa ini dapat difungsikan sebagai *safety time* untuk mengantisipasi hambatan di lapangan seperti kemacetan, antrian pelanan di toko, maupun kendala operasional lainnya, oleh karena itu, rute yang disusun dinilai sesuai dengan batasan waktu kerja yang berlaku dan layak dijalankan pada kondisi operasional sebenarnya.

5.2 Analisis Biaya Distribusi

Biaya yang dikeluarkan oleh PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul untuk melakukan kegiatan distribusi, yang mencakup dari biaya tetap dan variabel. Analisis biaya distribusi ini dilakukan berdasarkan hasil rute awal dan rute usulan yang sudah terbentuuk:

a. Biaya tetap

Biaya tetap atau *fixed cost* merupakan suatu biaya yang dikeluarkan oleh PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul untuk melakukan proses distribusi pengiriman produk ke pelanggan dengan secara tetap. Biaya tetap ini tidak meliputi jarak tempuh kendaraan dan kapasitas yang diangkut. Biaya ini meliputi dari biaya gaji supir, gaji pendamping supir, service double box engkol, service engkol box. Berikut merupakan dari biaya tetap yang dikeluarkan pada proses pendistribusian produk PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul:

Tabel 5. 7 Biaya Service Armada

Pengeluaran	Jenis Kendaraan	Biaya Service/Bulan	Biaya Service/Hari
Service	Double Box	Rp2,000,000	Rp80,000
Service	Engkol Box	Rp1,500,000	Rp60,000

Tabel 5. 8 Biaya Tenaga Kerja

Pengeluaran	Petugas	Gaji/Bulam	Gaji/Hari
Supir	1	Rp2,700,000	Rp108,000
Pendamping Supir	1	Rp1,000,000	Rp40,000

Berdasarkan tabel di atas menunjukkan komponen biaya operasional yang terdiri dari biaya service armada dan biaya tenaga kerja. Untuk armada, kendaraan Double Box memerlukan biaya service sebesar Rp2.000.000 per bulan atau sekitar Rp80.000 per hari, sedangkan kendaraan Engkel Box membutuhkan biaya Rp1.500.000 per bulan atau Rp60.000 per hari. Sementara itu, pada tenaga kerja, seorang supir menerima gaji sebesar Rp2.700.000 per bulan atau Rp108.000 per hari, dan pendamping supir memperoleh gaji Rp1.000.000 per bulan atau Rp40.000 per hari.Biaya Variabel.

b. Biaya variabel yang dikeluar oleh PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul untuk melakukan proses distribusi pengiriman produk yang dapat berubah ubah sesuai dengan jarak tempuh dari setiap masing-masing kendaraan. Berikut merupakan biaya variabel yang dikeluarkan pada proses pendistribusian produk PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul:

Tabel 5. 9 Biaya Bahan Bakar

Kendaraan	Jenis BBM	Rasio Konsumsi BBM	Harga BBM/Liter	Harga BBM/km
Double Box Engkel	Solar	1:10	Rp 6,800	Rp 680.00
Engkel Box	Solar	1: 8	Rp 6,800	Rp 850.00

Berdasarkan tabel diatas, kendaraan yang digunakan ada 2 tipe untuk proses distribusi yaitu Double Box Engkol dan Engkol Box. Double box menggunakan jenis BBM solar dengan rasio konsumsi BBM 1 : 10. Hal tersebut berarti setiap 1 liter BBM dapat digunakan dengan jarak 10 km. Harga BBM/Liter berdasarkan standar yang sudah ditetapkan sebesar Rp6.800,00 dengan Rp680,00 per hari. Engkel box menggunakan jenis BBM solar dengan rasio konsumsi BBM 1 : 8. Hal tersebut berarti setiap 1 liter BBM digunakan dengan jarak 8 km. Harga BBM/Liter berdasarkan standar yang sudah ditetapkan sebesar RP6.800,00 dengan Rp850,00 per hari.

c. Rekapitulasi Total Biaya

Total biaya distribusi adalah jumlah biaya tetap dan biaya variabel dari masing-masing rute yang dibuat. Pada penelitian yang dilakukan, salah satu faktor yang menyebabkan tinggi rendahnya adalah jarak tempuh kendaraan. Karena biaya variabel mengacu pada jarak tempuh dari setiap kendaraan, semakin pendek jarak tempuh kendaraan semakin rendah

biaya variabel yang dikeluarkan perusahaan. Perusahaan harus membayar total biaya berikut untuk proses distribusi produk berdasarkan rute yang ditetapkan:

1) Rute Awalan

Tabel 5. 10 Total Biaya *Route* Awal

Kendaraan	Totak Kunjungan	Jarak Tempuh (km)	Biaya Tetap (Rp)	Biaya Variabel (Rp)
1	27	153.78	Rp228,000.00	Rp104,570.40
2	27	182.43	Rp208,000.00	Rp155,065.50
3	31	134.59	Rp208,000.00	Rp114,401.50
	Sub Total		**Rp644,000.00**	**Rp374,037.40**
	TOTAL		**Rp1,018,037.40**	

Tabel tersebut menunjukkan ringkasan kinerja distribusi dari tiga kendaraan yang digunakan, meliputi jumlah kunjungan, jarak tempuh, serta pembagian biaya tetap dan biaya variabel. Kendaraan 1 melakukan 27 kunjungan dengan jarak tempuh 153,78 km, memiliki biaya tetap sebesar Rp228.000,00 dan biaya variabel Rp104.570,40. Kendaraan 2 juga melakukan 27 kunjungan tetapi dengan jarak tempuh lebih jauh yaitu 182,43 km, sehingga biaya variabelnya lebih tinggi yakni Rp155.065,50, dengan biaya tetap Rp208.000,00. Kendaraan 3 memiliki kunjungan terbanyak yaitu 31 titik, namun jarak tempuhnya terpendek sebesar 134,59 km, dengan biaya tetap Rp208.000,00 dan biaya variabel Rp114.401,50.

Pada tabel diatas secara keseluruhan, subtotal biaya tetap ketiga kendaraan adalah Rp644.000,00 dan subtotal biaya variabel Rp374.037,40, sehingga total biaya distribusi mencapai Rp1.018.037,40. Dari ketiga kendaraan, unit ke-3 menunjukkan efisiensi rute terbaik karena mampu melayani titik kunjungan terbanyak dengan jarak tempuh terpendek, sedangkan kendaraan ke-2 memiliki beban biaya variabel tertinggi akibat jarak distribusi yang paling panjang. Pentingnya pengaturan rute dan pembagian beban kerja kendaraan secara seimbang untuk meminimalkan biaya total distribusi.

2) Rute Usulan

Tabel 5. 11 Total Biaya *Route* Usulan

Kendaraan	Totak Kunjungan	Jarak Tempuh (km)	Biaya Tetap (Rp)	Biaya Variabel (Rp)
1	27	90.11	Rp228,000.00	Rp76,593.50
2	27	92.63	Rp208,000.00	Rp84,566.50
3	31	95.74	Rp208,000.00	Rp81,379.00
	Sub Total		**Rp644,000.00**	**Rp236,708.00**
	TOTAL		**Rp880,708.00**	

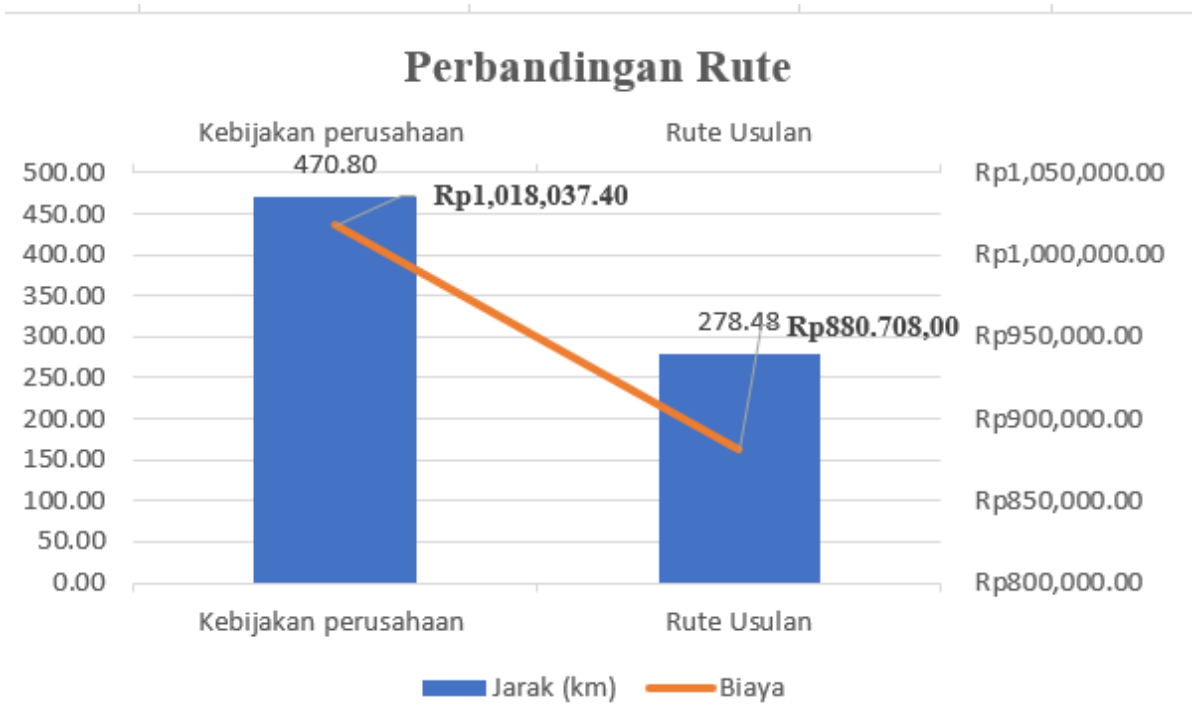
Tabel tersebut memuat ringkasan kinerja distribusi dari tiga kendaraan yang digunakan, meliputi jumlah kunjungan pelanggan, jarak tempuh, serta pembagian biaya tetap dan biaya variabel. Kendaraan 1 melayani 27 titik distribusi dengan jarak tempuh 90,11 km, memiliki biaya tetap sebesar Rp228.000,00 dan biaya variabel Rp76,593.50. Kendaraan 2 juga melayani 27 titik dengan jarak sedikit lebih jauh yaitu 92,63 km, sehingga biaya variabelnya lebih tinggi sebesar Rp84,566.50, dengan biaya tetap Rp208.000,00. Kendaraan 3 memiliki jumlah kunjungan terbanyak, yaitu 31 titik, dengan jarak tempuh terpendek sebesar 95,74 km, biaya tetap Rp208.000,00 dan biaya variabel Rp81,379.00.

Pada tabel dtatas secara keseluruhan, subtotal biaya tetap ketiga kendaraan adalah Rp644.000,00, sedangkan subtotal biaya variabel sebesar Rp236.708,00, sehingga total biaya distribusi mencapai Rp880.708,00. Kendaraan 3 menunjukkan efisiensi rute terbaik karena mampu mengunjungi titik terbanyak dengan jarak tempuh terpendek, sementara kendaraan 2 memiliki biaya variabel tertinggi akibat jarak tempuh yang lebih besar dibanding dua kendaraan lainnya. Dominasi biaya tetap ini mengindikasikan bahwa peningkatan efisiensi distribusi lebih efektif dicapai melalui optimalisasi pemanfaatan armada dan pembagian rute yang seimbang.

5.3 Perbandingan Algoritma Christofides dengan Kebijakan Perusahaan

Berdasarkan hasil wawancara yang sudah dilakukan, penentuan rute yang dilakukan PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul saat ini dengan historical data atau pengalaman dari masing-masing driver. Selain itu, penentuan rute didasarkan pada hasil evaluasi perusahaan setiap bulan atau tahunan. Namun, metode ini dianggap tidak efisien untuk pengambilan keputusan di tingkat operasional. Terdapat tiga rute yang dibuat, masing-masing berjarak 470, 8 km. Sementara itu, rute usulan dibuat melalui optimasi *Christofides Algorithm* yang menghasilkan

tiga rute dengan jarak total 285, 04 km. Berikut adalah perbandingan rute antara rute usulan dan kebijakan perusahaan:



Gambar 5. 4 Perbandingan Kebijakan Perusahaa dengan *Christofides*

Berdasarkan gambar tersebut menununjukkan perbandingan antara rute distribusi berdasarkan kebijakan perusahaan saat ini dengan rute usulan algoritma *Christofides* menunjukkan adanya perbedaan yang cukup signifikan dalam hal jarak tempuh. Rute awalan yang digunakan oleh PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul, total jarak tempuh yang dicapai adalah 470, 8 km dengan total biaya operasional Rp1.018.037,40. Sementara itu, pada rute usulan, jarak tempuh berkurang menjadi 278,48 km dengan biaya operasional sebesar Rp880.708,00. Perbedaan ini menunjukkan adanya penghematan baik dari segi jarak tempuh maupun biaya operasional yang cukup signifikan. Penurunan jarak tempuh sebesar 192,32 km menurunkan biaya operasional sebesar Rp137.329,40 atau sekitar 13,49 % secara langsung. Rute usulan dapat menurunkan konsumsi bahan bakar, biaya perawatan kendaraan, dan waktu perjalanan.

Namun, mesikupun Algoritma *Christofides* mampu menghasilkan rute yang lebih optimal, terdapat kondisi bahwa masih ada 15 toko dengan total permintaan 1.071 Kg yang tidak terlayani. Hal ini disebabkan keterbatasan kapasitas armada yang tersedia dan batasan waktu kerja pengemudi, meskipun rute usulan lebih efektif dibandingkan rute awalan perusahaan tetap mengalami kendala distribusi dalam memenuhi seluruh permintaan pelanggan

dengan mempertimbangkan strategi penambahan armada, baik sewa maupun pembelian agar seluruh toko dapat terlayani dan potensi kerugian akibat kehilangan penjualan dapat diminimalkan.

5.4 Analisis Alternatif Biaya Ekonomis Toko Tidak Terlayani

Pada tahap ini, perhitungan ekonomis dari tiga opsi yang tersedia untuk distribusi PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul akan dilakukan. Tiga opsi tersebut adalah tidak melakukan apa – apa, menyewa atau membeli kendaraan.Tujuan analisis adalah untuk menghitung laba dan kerugian dari berbagai solusi saat ini. Berikut merupakan data biaya asumsi yang didapatkan berdasarkan wawancara dari pihak PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul:

Tabel 5. 12 Input Biaya

Variabel	Nilai	Keterangan
1071 Kg	15	Jumlah toko tidak terkirim
Hari kerja 1 minggu	6	Hari kerja per minggu
Hari kerja 1 bulan	25	Hari kerja per bulan
nilai penjualan 15 toko	Rp40,000,000.00	Nilai 15 toko / trip
Laba	Rp6,000,000.00	Laba 15 toko
Biaya Variabel Truk Engkel	Rp850.00	Biaya BBM / km
jarak total 15 toko	58	Total jarak
Upah Supir	Rp108,000.00	Gaji supir / hari
Upah Kernet	Rp100,000.00	Gaji kernet / hari
Biaya Sewa	Rp600,000.00	Biaya sewa truk / hari
Biaya Beli	Rp 450,000,000.00	Harga beli truk
Umur ekonomis	8 tahun	Umur ekonomis (tahun)
Depresiasi / Bulan	Rp 4,687,500	Depresiasi per bulan
O&M Tahun	10% x p/tahun	Biaya operasi dan perawatan tahunan
O&M / Bulan	Rp 3,750,000	Biaya operasi dan perawatan bulanan

Berdasarkan tabel diatas terkait biaya yang diperoleh dengan melakukan wawancara dari pihak perusahaan. Setelah itu, dilakukan perhitungan kerugian biaya yang harus dikeluarkan dari perusahaan di minggu dan bulannya dengan memilih satu alternatif. Terdapat 15 toko dengan total permintaan 1.071 kilogram yang tidak terlayani akibat keterbatasan armada. Asumsi yang digunakan adalah 6 hari kerja dalam satu minggu atau 25 hari kerja dalam satu bulan. Nilai penjualan dari 15 toko tersebut diperkirakan mencapai Rp40.000.000 dengan potensi laba 15 % sebesar Rp6.000.000. Dari sisi biaya distribusi, komponen variabel meliputi bahan bakar senilai Rp850 per kilometer dengan estimasi jarak tempuh 58 km, serta biaya tenaga kerja yang terdiri dari gaji sopir sebesar Rp108.000 per hari dan kernet Rp100.000 per hari. Selain itu, opsi penyewaan kendaraan juga tersedia dengan biaya Rp600.000 per hari.

Apabila perusahaan memilih menambah armada melalui pembelian truk baru, maka diperlukan investasi awal sebesar Rp450.000.000 dengan umur ekonomis selama 8 tahun. Perhitungan depresiasi bulanan mencapai Rp4.687.500, sedangkan biaya operasi dan perawatan tahunan diproyeksikan sebesar 10% dari harga pembelian, yaitu setara dengan Rp3.750.000 per bulan. Informasi ini memberikan gambaran mengenai konsekuensi biaya dari setiap alternatif solusi, baik dengan tidak melakukan pengiriman, menyewa kendaraan, maupun membeli armada baru. Analisis lebih lanjut diperlukan untuk menentukan opsi yang paling efisien dan berkelanjutan bagi perusahaan. Dibawah merupakan perhitungan untuk mingguan dan bulanan:

Tabel 5. 13 Perhitungan Biaya Mingguan

Komponen	Nilai (Mingguan)	Keterangan	Solusi
Kerugiaan (1 minggu)	Rp36,000,000.00	Rp 3.750.000*6	**Jika tidak melakukan apa-apa**
Total Kerugian	Rp36,000,000.00		
Sewa (1 minggu)	Rp3,600,000.00	Rp 600.000*6	**Jika melakukan sewa**
supir (1 minggu)	Rp648,000.00	Rp 108.000*6	
Kernet (1 minggu)	Rp600,000.00	Rp 100.000*6	
biaya solar (1 minggu)	Rp295,800.00	Rp 850*58 km*6	
Total Biaya	Rp5,143,800.00		
Depresiasi (1 minggu)	Rp1,125,000.00	(Rp 4.687.500/25)*6	**Jika melakukan beli**
O&M (1 minggu)	Rp900,000.00	(Rp 3.750.000/25)*6	

Komponen	Nilai (Mingguan)	Keterangan	Solusi
supir (1 minggu)	Rp648,000.00	Rp 108.000*6	
Kernet (1 minggu)	Rp600,000.00	Rp 100.000*6	
Total Biaya	Rp3,273,000.00		

Tabel 5. 14 Perhitungann Biaya Bulanan

Komponen	Nilai (Bulan)	Keterangan	Solusi
Kerugiaan (1 Bulan)	Rp150,000,000.00	Rp 6.000.000*25	**Jika tidak melakukan apa-apa**
Total Kerugian	Rp150,000,000.00		
Sewa (1 Bulan)	Rp15,000,000.00	Rp 600.000*25	**Jika melakukan sewa**
supir (1 Bulan)	Rp2,700,000.00	Rp 108.000*25	
Kernet (1 Bulan)	Rp2,500,000.00	Rp 100.000*25	
biaya solar (1 Bulan)	Rp1,232,500.00	Rp 850*50 km*25	
Total Biaya	Rp21,432,500.00		
Depresiasi (1 Bulan)	Rp4,687,500.00	Rp 450.000.000/(8*12)	**Jika melakukan beli**
O&M (1 Bulan)	Rp3,750,000.00	Rp 45.000.000/12	
supir (1 Bulan)	Rp2,700,000.00	Rp 108.000*25	
Kernet (1 Bulan)	Rp2,500,000.00	Rp 100.000*25	
Total Biaya	Rp13,637,500.00		

Berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan untuk mingguan menunjukkan bahwa apabila perusahaan tidak mengambil tindakan apa pun, maka potensi kerugian akibat tidak terlayani sebanyak 15 toko mencapai Rp36.000.000 per minggu. Alternatif solusi dengan menyewa truk membutuhkan biaya Rp5.143.800 per minggu, yang mencakup sewa kendaraan, gaji sopir, gaji kernet, serta biaya bahan bakar. Sementara itu, opsi membeli truk baru menimbulkan biaya sebesar Rp3.273.000 per minggu, terdiri atas depresiasi, biaya operasi dan perawatan, serta biaya tenaga kerja.

Sementara untuk perhitungan bulanan kerugian akibat tidak melayani 15 toko dapat mencapai Rp150.000.000. Jika perusahaan memilih menyewa kendaraan, maka biaya yang harus ditanggung sekitar Rp21.432.500 per bulan. Sedangkan opsi membeli truk menghasilkan total biaya lebih kecil yaitu Rp13.637.500 per bulan. Hal ini menegaskan bahwa dalam jangka panjang, pembelian truk baru merupakan solusi yang lebih ekonomis karena mampu menekan

biaya distribusi lebih signifikan dibandingkan opsi sewa. Dengan demikian, perhitungan ini memperlihatkan pentingnya evaluasi strategi distribusi agar perusahaan dapat memilih alternatif dengan biaya paling efisien untuk menjaga kelancaran layanan sekaligus mengurangi potensi kerugian.

BAB VI
PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dalam menentukan rute distribusi yang optimal menggunakan *Evolutionary Algorithm* dan *Christofides Algorithm,* diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan metode *Evolutionary Algorithm* dan *Chritofides Algorithm* diperoleh rute distribusi baru yang disesuaikan dengan kapasitas kendaraan, jumlah pelanggan, dan batas waktu kerja di PT. Frisian Flag Distributor Bantul. Armada yang digunakan terdiri dari 1 unit Hino Double Box berkapasitas 4.000 Kg dan 2 unit Hino Engkel Box berkapasitas 3.000 Kg. Rute usulan menghasilkan jarak tempuh masing-masing 90, 11 km untuk truk pertama, 92,63 km untuk truk kedua, dan 95,74 km untuk truk 3 dengan total jarak 278, 84 km. Angka ini jauh lebih pendek dibandingkan rute aktual perusahaan yang mencapai 470, 80 km, sehingga rute optimal yang dihasilkan tidak hanya layak diterapkan secara opersional tetapi juga memberikan efisiensi yang signifikan pada jarak tempuh distribusi.
2. Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi Evolutionary Algorithm dan Algoritma Christofides mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih optimal dibandingkan rute awal perusahaan. Hasilnya terdapat penurunan jarak tempuh sebesar 192,32 km (41%), yang berdampak pada efisiensi waktu serta tetap sesuai dengan batas kerja harian 480 menit, termasuk waktu layanan dan istirahat, bahkan menyisakan safety time bagi pengemudi. Efisiensi ini juga menurunkan biaya distribusi dari Rp1.018.037,40 menjadi Rp880.708,00, dengan penghematan sekitar Rp137.329,40 (13,49%). Meskipun demikian, keterbatasan kapasitas dari ketiga kendaraan yang digunakan menyebabkan masih terdapat 15 toko dengan total permintaan 1.071 Kg yang tidak dapat terlayani, sehingga potensi kerugian dari sisi penjualan tetap ada dan ketercukupan jumlah armada juga sangat penting.

6.2 Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan di PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul, terdapat beberapa saran yang dapat disajikan sebagai pertimbangan perusahaan serta penilitian selanjutnya yang akan dilakukan dengan menggunakan metode serupa. Berikut merupakan saran yang diberikan:

1. Bagi Perusahaan

   PT. Frisian Flag Indonesia Distributor Bantul disarankan untuk menerapkan rute distribusi hasil optimasi yang telah dilakukan dengan *Evoluitionary Algorithm* dan *Christofides Algorithm* dapat membantu menurunkan jarak tempuh sebesar 39,46% dan menghemat biaya distribusi hingga 12,94%. Namun, masih ada permasalahan terkait 15 toko yang tidak terlayani dengan total kerugian sebesar Rp 40.000.000. Berdasarkan hasil penulis dalam jangka pendek, penyewaaan kendaraan dapat menjadi solusi yang fleksibel untuk mengatasi permintaan yang tidak terlayani, sedangkan dalam jangka panjang pembelian armada lebih direkomendasikan karena total biaya operasional yang dikeluarkan lebih rendah dibandingkan dengan opsi sewa agar semua toko dapat terpenuhi dan terlayani agar meningkatkan kepuasan pelanggan secara berkelanjutan.

2. Bagi Peneliti Selanjutnya

   Peneliti berikutnya disarankan untuk mengembangkan penelitian ini dengan menambah variabel optimasi lain seperti kapasitas jalan, jam sibuk, kondisi cuaca, atau prioritas pengiriman, sehingga hasil rute yang dihasilkan dapat lebih mencerminkan kondisi operasional sebenarnya, selain itu, penelitian lanjutan dapat memasukkan analisis dampak lingkungan melalui perhitungan pengurangan emsisi karbon yang dihasilkan dari penurunan jarak tempuh, sehingga manfaat yang diperoleh tidak hanya dari sisi efisiensi biaya tetapi juga berkelanjutan lingkungan Peneliti juga dapat mengintegrasikan model optimasi langsung ke dalam sistem distribusi perusahaan dan melakukan uji coba lapangan (*field test*) untuk memvalidasi keefektifan rute dalam kondisi operasional nyata, sehingga hasil yang diperoleh dapat langsung diimplementasikan dan memberikan dampak positif yang terukur bagi perusahaan.

DAFTAR PUSTAKA

Abdirad, M., & Krishnan, K. (2020). Industry 4.0 in Logistics and Supply Chain Management: A Systematic Literature Review. *EMJ - Engineering Management Journal*, *00*(00), 1–15. https://doi.org/10.1080/10429247.2020.1783935

Alacsel, S. (2024). Penerapan Sistem Informasi Manajemen pada PT. Prima Indonesia Logistik. *AKADEMIK: Jurnal Mahasiswa Humanis*, *4*(1), 122–131. https://doi.org/10.37481/jmh.v4i1.719

Aswin, M. Y., Wamiliana, W., Fitriani, F., Ansori, M., & Notiragayu, N. (2024). Perbandingan Cheapest Insertion Heuristic dan Algoritma Christofides untuk Menentukan Tour Pasar Tradisional di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Pepadun*, *5*(2), 180–192. https://doi.org/10.23960/pepadun.v5i2.228

Christata, B. R., & Primadasa, R. (2023). Penentuan Rute Pengiriman Es Batu Menggunakan Nearest Neighbor Dan Excel Solver. *Journal of Industrial Engineering and Technology*, *3*(2), 62–73. https://doi.org/10.24176/jointech.v3i2.10111

Christofides, N. (2022). Worst-Case Analysis of a New Heuristic for the Travelling Salesman Problem. *Operations Research Forum*, *3*(1), 1–4. https://doi.org/10.1007/s43069-021-00101-z

Decy Arwini, N. P., & Juniastra, I. M. (2023). Peran Transportasi Dalam Dunia Industri. *Jurnal Ilmiah Vastuwidya*, *6*(1), 70–77. https://doi.org/10.47532/jiv.v6i1.794

Dina Enjeli Sihombing, & Faiz Ahyaningsih. (2023). Optimalisasi Rute Distribusi Air Minum Dalam Kemasan Menggunakan Algoritma Genetika Pada Pt. Mual Natio Maju Bersama. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Pendidikan*, *2*(1), 70–83. https://doi.org/10.55606/jurripen.v2i1.815

Dutta, J., Barma, P. S., Mukherjee, A., Kar, S., & De, T. (2022). A hybrid multi-objective evolutionary algorithm for open vehicle routing problem through cluster primary-route secondary approach A hybrid multi-objective evolutionary algorithm for open vehicle routing problem through cluster primary-route secondary appr. *International Journal of Management Science and Engineering Management*, *00*(00), 1–15. https://doi.org/10.1080/17509653.2021.2000901

Fadhillah A, D., Ega, N., Sofisyah A, D., Riski, A., & Sakti, E. (2023). Genetic Algorithm Design on Traveling Salesman Problem. *Informatics and Software Engineering*, *1*(1), 24–29. https://doi.org/10.58777/ise.v1i1.60

Harir, Z., Bagus, I., Widiartha, K., & Afwani, R. (2020). *Aplikasi Pertimbangan Wisata Di Pulau Lombok Dengan Metode Fuzzy Mamdani & Algoritma Genetika Tourism Consideration Application in Lombok Island With Fuzzy Mamdani Method and Genetic Algorithm*. *7*(6), 1261–1270. https://doi.org/10.25126/jtiik.202071197

Haudi, Rahadjeng, E. R., Santamoko, R., Putra, R. S., Purwoko, D., Nurjannah, D., Koho, I. R., Wijoyo, H., Siagian, A. O., Cahyono, Y., & Purwanto, A. (2022). The role of e-marketing and e-crm on e-loyalty of indonesian companies during covid pandemic and digital era. *Uncertain Supply Chain Management*, *10*(1), 217–224. https://doi.org/10.5267/j.uscm.2021.9.006

Hayati, E. N. (2014). Supply Chain Management (SCM) Dan Logistic Management. *Jurnal Dinamika Teknik*, *8*(1), 25–34.

Hien, V. Q., Dao, T. C., & Binh, H. T. T. (2023). A greedy search based evolutionary algorithm for electric vehicle routing problem. *Applied Intelligence*, *53*(3), 2908–2922. https://doi.org/10.1007/s10489-022-03555-8

Indrapriyatna, A. S. (2024). *Optimization of Optical Distribution Point Device Placement on Fiber Optic Cable Networks to Homes*. 74–86. https://doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0602.659

Kristina, S., Sianturi, R., & Wijaya, V. J. (2020). Pengembangan Algoritma Ant Colony System Pada Heterogeneous Vehicle Routing Problem with Soft Time Window. *Journal of Integrated System*, *3*(2), 85–102. https://doi.org/10.28932/jis.v3i2.2839

Muhammad Khoirul Hadi, P. R. (2024). PENDAMPINGAN PETERNAK SAPI PERAH MELALUI PELATIHAN PEMASARAN PRODUK SUSU DI KAMPUNG PLATUK KELURAHAN SIDOTOPO KECAMATAN KENJERAN KOTA SURABAYA. *Jurnal Pengabdian Dan Pemberdayaan Masyarakat*, 1–6.

Ochelska-Mierzejewska, J., Poniszewska-Marańda, A., & Marańda, W. (2021). Selected genetic algorithms for vehicle routing problem solving. *Electronics (Switzerland)*, *10*(24), 1–34. https://doi.org/10.3390/electronics10243147

Panjaitan, D. J. (2023). Analisis Anggaran Biaya Operasional Sebagai Alat Perencanaan dan Pengendalian Laba PT Inti Citra Agung. *Ekonomi Bisnis Antartika*, *1*, 81–87.

Pramestiana, I., & Anwar, A. (2025). Penentuan Rute Terpendek pada Pengiriman Kendaraan Motor menggunakan Algoritma Djikstra di PT Pos Logistik Indonesia. *Jurnal Logic: Logistics & Supply Chain Center*, *3*(2), 69–77. https://doi.org/10.33197/jlscc.v3i2.2480

Prasetyo, W., & Tamyiz, M. (2017). Vehicle Routing Problem Dengan Aplikasi Metode Nearest Neighbor. *Journal of Research and Technology*, *3*(2). https://doi.org/10.55732/jrt.v3i2.263

Primiani Edianingsih, dan R. F. C. (2020). Pengenalan Berbagai Olahan Susu Sebagai Alternatif Usaha yangMenjanjikan di Masyakarat Desa Cisempur Jatinangor SumedangJawa Barat. *JPKMI (Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Indonesia)*, 1–7.

Putri, D. L., Nurmansyah, N., & Aznuryandi, A. (2022). Metode Pemisahan Biaya Tetap dan Biaya Variabel dalam Perhitungan Break Even Point pada PT. Rotte Ragam Rasa. *Jurnal Akuntansi Kompetif, Online ISSN:2622-5379*, *5*(1), 95–101.

Putri, D. R. A., Oktavia, N. S., Chasanah, S. L., Sawitri, R., & Paskalia, F. A. (2025). Implementation of Christofides Algorithm to Determine the Shortest Tour of Some Hospitals in Palembang City. *Integra: Journal of Integrated Mathematics and Computer Science*, *2*(1), 15–19. https://doi.org/10.26554/integrajimcs.20252113

Ramadhan, G. C., Bagus W, P., & Diah Rosita, Y. (2023). Penentuan Rute Optimal Untuk Jasa Pengiriman Barang Menggunakan Algoritma Genetika. *JTIM : Jurnal Teknologi Informasi Dan Multimedia*, *5*(1), 48–55. https://doi.org/10.35746/jtim.v5i1.322

Retno Andani, S. (2022). Optimasi Rute Menggunakan Vehicle Routing Problem (VRP) Dengan Algoritma Genetika. *Jurnal Penerapan Sistem Informasi (Komputer & Manajemen)*, *4*(1), 148–156.

Sanggala, E. (2023). Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem (Cvrp) Dengan Evolutionary Algorithm & Excel Solver (Studi Kasus: Russia-20-Nodes-Cvrp Instance). *PROFISIENSI: Jurnal Program Studi Teknik Industri*, *11*(2), 144–151. https://doi.org/10.33373/profis.v11i2.5896

Sari, R. K. (2019). 2366 Words. *Jurnal Ekonomi Dan Bisnis GROWTH (JEBG)*, *16*, 29–36.

Satya Kusuma, D., Widyananda Liwangsa, E., Bryant Tanu Wijaya, M., & Sugioko, A. (2023). Usulan Model Simulasi Antrian Dengan Menggunakan Software Promodel (Studi Kasus: Restoran Nasi Uduk Hebring, Jakarta Utara). *Inkubis : Jurnal Ekonomi Dan Bisnis*, *4*(1), 36–46. https://doi.org/10.59261/inkubis.v4i1.63

Soleha, L. K., & Ginanjar, R. (2023). Tinjauan Strategi Pemasaran dan Segmentasi Target dan Positioning pada PT. Frisian Flag dalam Memasarkan Produknya. *Prosiding Festival Riset*

Ilmiah Manajemen & Akuntansi, *6681*(6), 378–387.

Sybran, A. M. & T. (2013). Analisis Sistem Antrian pada Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) dengan Menggunakan simulasi Arena. *Malikussaleh Industrial Engineering Journal*, *2*(2), 16–23. https://journal.unimal.ac.id/miej/articleview/74

Tang, Y., Alhadlaq, A., Bagabaldo, A. R., & Gonzalez, M. C. (2025). Designing transit routes based on vehicle routing behavior determined through location-based services data. *EPJ Data Science*, *14*(1). https://doi.org/10.1140/epjds/s13688-025-00559-5

Tjoea, F. J., & Halim, S. (2023). Evaluasi Rute Pelayaran Kapal dengan Pendekatan Modified Minimum…. *Jurnal Titra*, *11*(2), 265–272.

Tohari, A., & Astuti, Y. P. (2023). Penerapan Algoritma Genetika Dalam Menentukan Rute Terpendek Pt. Pos Cabang Lamongan. *MATHunesa: Jurnal Ilmiah Matematika*, *11*(3), 458–467. https://doi.org/10.26740/mathunesa.v11n3.p458-467

Tri, N., Adiningrum, R., Prianto, C., Yusril, M., & Setyawan, H. (2024). *IMPLEMENTASI LINEAR PROGRAMMING PADA MODEL CVRPP UNTUK*. *8*(4), 391–401.

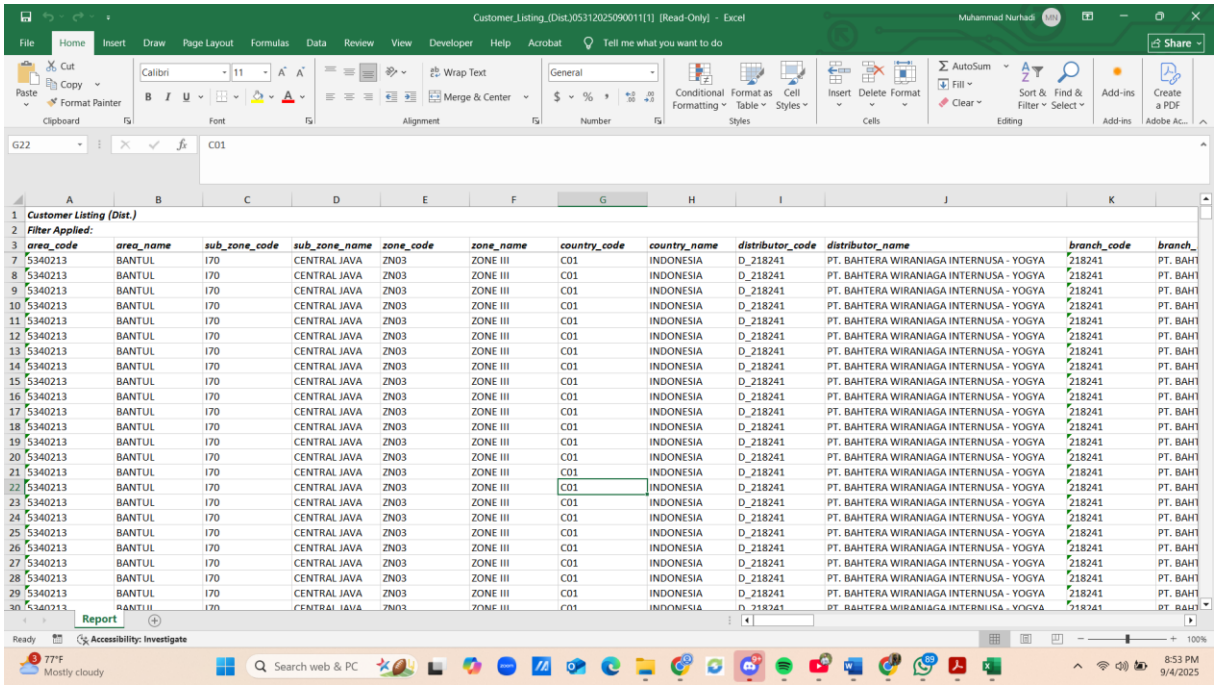
Vigo, P. T. and D. (2002). *T He V Ehicle*. *0*, 1–4.

Yulianto, S., Widyadana, I. G. A., & Sepadyati, N. (2020). Optimasi Rute Pengiriman pada CV. X Menggunakan Metode Evolutionary Algorithm. *Jurnal Tirta*, *10*(1), 17–22.

Zai, I., Yulianti, Y., Feblicia, S., Aqmi, A. L. Z., & Rahmah, A. F. (2022). Analisis Pengaruh Peningkatan Kinerja, Incoterms, Transportasi, Distribusi, Keterlibatan TPL dan Manajemen Risiko Terhadap Aktivitas Logistik. *Jurnal Sosial Teknologi*, *2*(3), 225–238. https://doi.org/10.59188/jurnalsostech.v2i3.304

LAMPIRAN

A1- Data Awalan Perusahaan

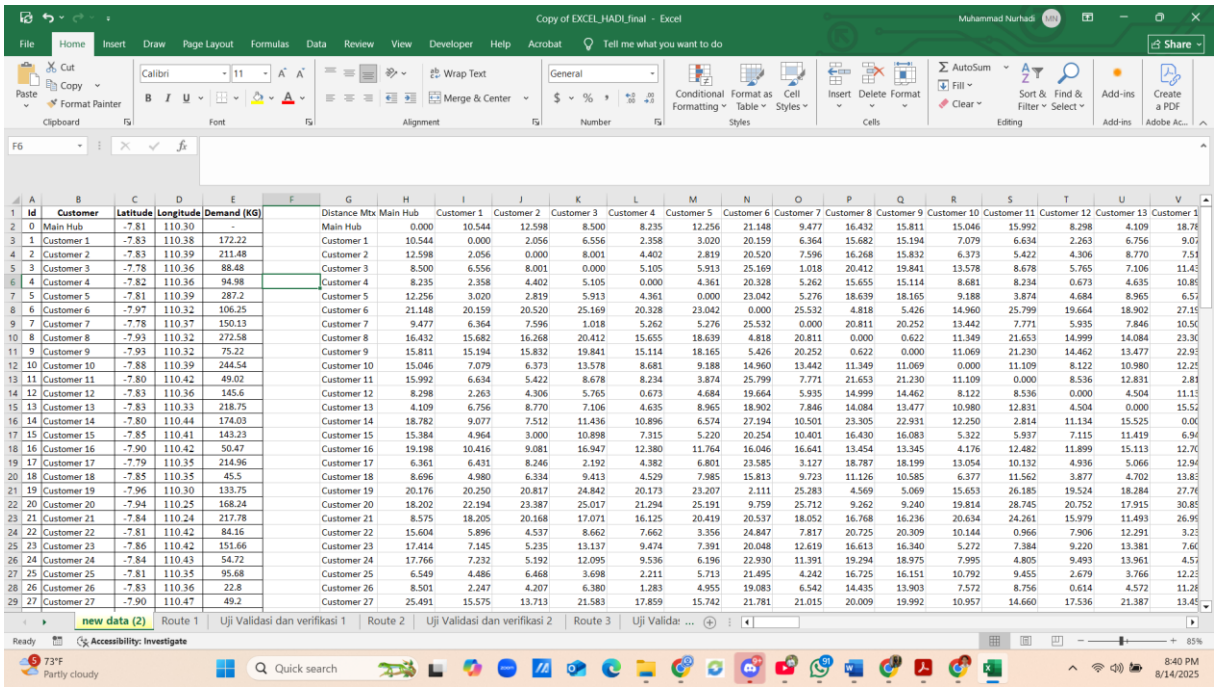


Customer_Listing_(Dist.)05312025090011[1] [Read-Only] - Excel

Customer Listing (Dist.)
Filter Applied:

area_code	area_name	sub_zone_code	sub_zone_name	zone_code	zone_name	country_code	country_name	distributor_code	distributor_name	branch_code	branch_
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT
5340213	BANTUL	I70	CENTRAL JAVA	ZN03	ZONE III	C01	INDONESIA	D_218241	PT. BAHTERA WIRANIAGA INTERNUSA - YOGYA	218241	PT. BAHT

B1 – Pengolahan Matriks Waktu Tempuh



Id	Customer	Latitude	Longitude	Demand (KG)
0	Main Hub	-7.81	110.30	-
1	Customer 1	-7.83	110.38	172.22
2	Customer 2	-7.83	110.39	211.48
3	Customer 3	-7.78	110.36	88.48
4	Customer 4	-7.82	110.36	94.98
5	Customer 5	-7.81	110.39	287.2
6	Customer 6	-7.97	110.32	106.25
7	Customer 7	-7.78	110.37	150.13
8	Customer 8	-7.93	110.32	272.58
9	Customer 9	-7.93	110.32	75.22
10	Customer 10	-7.88	110.39	244.54
11	Customer 11	-7.80	110.42	49.02
12	Customer 12	-7.83	110.36	145.6
13	Customer 13	-7.83	110.33	218.75
14	Customer 14	-7.80	110.44	174.03
15	Customer 15	-7.85	110.41	143.23
16	Customer 16	-7.90	110.42	50.47
17	Customer 17	-7.79	110.35	214.96
18	Customer 18	-7.85	110.35	45.5
19	Customer 19	-7.96	110.30	133.75
20	Customer 20	-7.94	110.25	168.24
21	Customer 21	-7.84	110.24	217.78
22	Customer 22	-7.81	110.42	84.16
23	Customer 23	-7.86	110.42	151.66
24	Customer 24	-7.84	110.43	54.72
25	Customer 25	-7.81	110.35	95.68
26	Customer 26	-7.83	110.36	22.8
27	Customer 27	-7.90	110.47	49.2

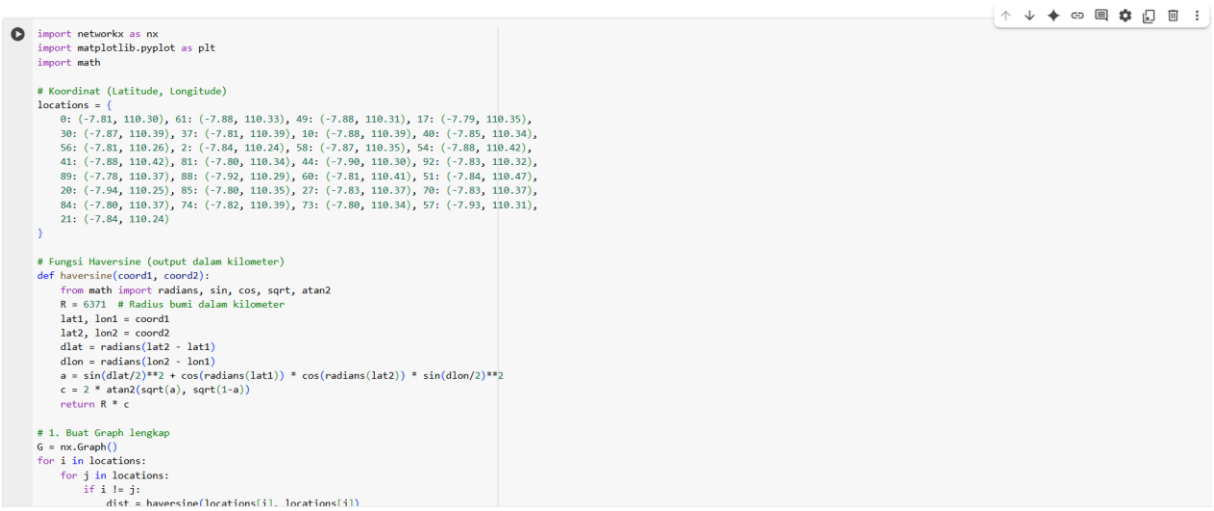
Distance Mtx	Main Hub	Customer 1	Customer 2	Customer 3	Customer 4	Customer 5	Customer 6	Customer 7	Customer 8	Customer 9	Customer 10	Customer 11	Customer 12	Customer 13	Customer 14
Main Hub	0.000	10.544	12.598	8.500	8.235	12.256	21.148	9.477	16.432	15.811	15.046	15.992	8.298	4.109	18.78
Customer 1	10.544	0.000	2.056	6.556	2.358	3.020	20.159	6.364	15.682	15.194	7.079	6.634	2.263	6.756	9.07
Customer 2	12.598	2.056	0.000	8.001	4.402	2.819	20.520	7.596	16.268	15.832	6.373	5.422	4.306	8.770	7.51
Customer 3	8.500	6.556	8.001	0.000	5.105	5.913	25.169	1.018	20.412	19.841	13.578	8.678	5.765	7.106	11.43
Customer 4	8.235	2.358	4.402	5.105	0.000	4.361	20.328	5.262	15.655	15.114	8.681	8.234	0.673	4.635	10.85
Customer 5	12.256	3.020	2.819	5.913	4.361	0.000	23.042	5.276	18.639	18.165	9.188	3.874	4.684	8.965	6.57
Customer 6	21.148	20.159	20.520	25.169	20.328	23.042	0.000	25.532	4.818	5.426	14.960	25.799	19.664	18.902	27.19
Customer 7	9.477	6.364	7.596	1.018	5.262	5.276	25.532	0.000	20.811	20.252	13.442	7.771	5.935	7.846	10.50
Customer 8	16.432	15.682	16.268	20.412	15.655	18.639	4.818	20.811	0.000	0.622	11.349	21.653	14.999	14.084	23.30
Customer 9	15.811	15.194	15.832	19.841	15.114	18.165	5.426	20.252	0.622	0.000	11.069	21.230	14.462	13.477	22.93
Customer 10	15.046	7.079	6.373	13.578	8.681	9.188	14.960	13.442	11.349	11.069	0.000	11.109	8.122	10.980	12.25
Customer 11	15.992	6.634	5.422	8.678	8.234	3.874	25.799	7.771	21.653	21.230	11.109	0.000	8.536	12.831	2.81
Customer 12	8.298	2.263	4.306	5.765	0.673	4.684	19.664	5.935	14.999	14.462	8.122	8.536	0.000	4.504	11.15
Customer 13	4.109	6.756	8.770	7.106	4.635	8.965	18.902	7.846	14.084	13.477	10.980	12.831	4.504	0.000	15.52
Customer 14	18.782	9.077	7.512	11.436	10.896	6.574	27.194	10.501	23.305	22.931	12.250	2.814	11.134	15.525	0.00
Customer 15	15.384	4.964	3.000	10.898	7.315	5.220	20.254	10.401	16.430	16.083	5.322	5.937	7.115	11.419	6.94
Customer 16	19.198	10.416	9.081	16.947	12.380	11.764	16.046	16.641	13.454	13.345	4.176	12.482	11.899	15.113	12.70
Customer 17	6.361	6.431	8.246	2.192	4.382	6.801	23.585	3.127	18.787	18.199	13.054	10.132	4.936	5.066	12.94
Customer 18	8.696	4.980	6.334	9.413	4.529	7.985	15.813	9.723	11.126	10.585	6.377	11.562	3.877	4.702	13.83
Customer 19	20.176	20.250	20.817	24.842	20.173	23.207	2.111	25.283	4.569	5.069	15.653	26.185	19.524	18.284	27.76
Customer 20	18.202	22.194	23.387	25.017	21.294	25.191	9.759	25.712	9.262	9.240	19.814	28.745	20.752	17.915	30.85
Customer 21	8.575	18.205	20.168	17.071	16.125	20.419	20.537	18.052	16.768	16.236	20.634	24.261	15.979	11.493	26.95
Customer 22	15.604	5.896	4.537	8.662	7.662	3.356	24.847	7.817	20.725	20.309	10.144	0.966	7.906	12.291	3.23
Customer 23	17.414	7.145	5.235	13.137	9.474	7.391	20.048	12.619	16.613	16.340	5.272	7.384	9.220	13.381	7.60
Customer 24	17.766	7.232	5.192	12.095	9.536	6.196	22.930	11.391	19.294	18.975	7.995	4.805	9.493	13.961	4.57
Customer 25	6.549	4.486	6.468	3.698	2.211	5.713	21.495	4.242	16.725	16.151	10.792	9.455	2.679	3.766	12.23
Customer 26	8.501	2.247	4.207	6.380	1.283	4.955	19.083	6.542	14.435	13.903	7.572	8.756	0.614	4.572	11.28
Customer 27	25.491	15.575	13.713	21.583	17.859	15.742	21.781	21.015	20.009	19.992	10.957	14.660	17.536	21.387	13.45

C1 – Hasil *Clustering* EA

Total time. each truck	
	497.8053875
1	497.8053875
2	697.5820097
3	476.1823151
Total time.	**1671.569712**

Total load each truck	
Truck	**Load**
	3833.14
1	3833.14
2	3733.42
3	2948.28
	CLUSTRING
Truck	**Customer**
1	0-61-49-17-30-37-10-40-56-2-58-54-41-44-92-89-88-60-51-20-85-27-70-84-74-73-57-21
2	0-16-46-95-39-33-12-76-9-15-59-83-71-34-47-75-4-14-78-93-69-67-94-90-1-50-62-48
3	0-3-81-68-91-32-18-82-31-13-11-96-6-97-19-63-53-28-7-64-98-65-38-100-99-79-66-5-42-25-23-24

D1 – *Pseudocode* Algoritma Christofides

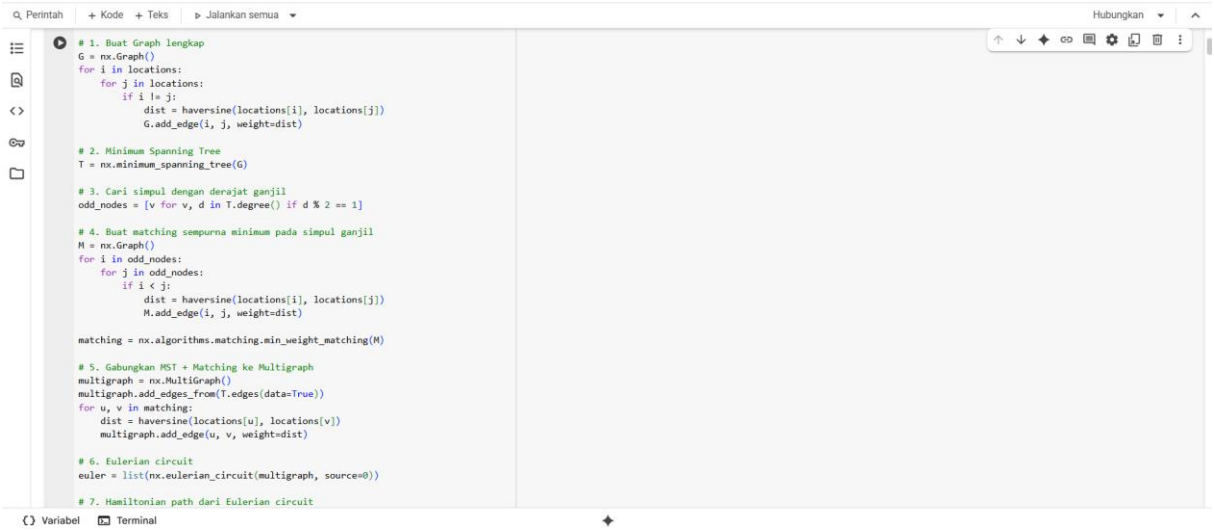


```
import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt
import math

# Koordinat (Latitude, Longitude)
locations = {
    0: (-7.81, 110.30), 61: (-7.88, 110.33), 49: (-7.88, 110.31), 17: (-7.79, 110.35),
    30: (-7.87, 110.39), 37: (-7.81, 110.39), 10: (-7.88, 110.39), 40: (-7.85, 110.34),
    56: (-7.81, 110.26), 2: (-7.84, 110.24), 58: (-7.87, 110.35), 54: (-7.88, 110.42),
    41: (-7.88, 110.42), 81: (-7.80, 110.34), 44: (-7.90, 110.30), 92: (-7.83, 110.32),
    89: (-7.78, 110.37), 88: (-7.92, 110.29), 60: (-7.81, 110.41), 51: (-7.84, 110.47),
    20: (-7.94, 110.25), 85: (-7.80, 110.35), 27: (-7.83, 110.37), 70: (-7.83, 110.37),
    84: (-7.80, 110.37), 74: (-7.82, 110.39), 73: (-7.80, 110.34), 57: (-7.93, 110.31),
    21: (-7.84, 110.24)
}

# Fungsi Haversine (output dalam kilometer)
def haversine(coord1, coord2):
    from math import radians, sin, cos, sqrt, atan2
    R = 6371  # Radius bumi dalam kilometer
    lat1, lon1 = coord1
    lat2, lon2 = coord2
    dlat = radians(lat2 - lat1)
    dlon = radians(lon2 - lon1)
    a = sin(dlat/2)**2 + cos(radians(lat1)) * cos(radians(lat2)) * sin(dlon/2)**2
    c = 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1-a))
    return R * c

# 1. Buat Graph lengkap
G = nx.Graph()
for i in locations:
    for j in locations:
        if i != j:
            dist = haversine(locations[i], locations[j])
```



```
# 1. Buat Graph lengkap
G = nx.Graph()
for i in locations:
    for j in locations:
        if i != j:
            dist = haversine(locations[i], locations[j])
            G.add_edge(i, j, weight=dist)

# 2. Minimum Spanning Tree
T = nx.minimum_spanning_tree(G)

# 3. Cari simpul dengan derajat ganjil
odd_nodes = [v for v, d in T.degree() if d % 2 == 1]

# 4. Buat matching sempurna minimum pada simpul ganjil
M = nx.Graph()
for i in odd_nodes:
    for j in odd_nodes:
        if i < j:
            dist = haversine(locations[i], locations[j])
            M.add_edge(i, j, weight=dist)

matching = nx.algorithms.matching.min_weight_matching(M)

# 5. Gabungkan MST + Matching ke Multigraph
multigraph = nx.MultiGraph()
multigraph.add_edges_from(T.edges(data=True))
for u, v in matching:
    dist = haversine(locations[u], locations[v])
    multigraph.add_edge(u, v, weight=dist)

# 6. Eulerian circuit
euler = list(nx.eulerian_circuit(multigraph, source=0))

# 7. Hamiltonian path dari Eulerian circuit
```



```
# 6. Eulerian circuit
euler = list(nx.eulerian_circuit(multigraph, source=0))

# 7. Hamiltonian path dari Eulerian circuit
visited = set()
route = []
for u, v in euler:
    if u not in visited:
        visited.add(u)
        route.append(u)
route.append(0)  # kembali ke awal

# 8. Hitung total jarak
total_distance = sum(haversine(locations[route[i]], locations[route[i+1]]) for i in range(len(route)-1))

# 9. Tampilkan hasil
print("Urutan kunjungan (Christofides):")
print(route)
print(f"\nTotal jarak: {total_distance:.2f} km")

# 10. Visualisasi
plt.figure(figsize=(10, 8))
for i in locations:
    x, y = locations[i][1], locations[i][0]
    plt.scatter(x, y, color='blue')
    plt.text(x, y, str(i), fontsize=9, ha='right')

for i in range(len(route) - 1):
    x1, y1 = locations[route[i]][1], locations[route[i]][0]
    x2, y2 = locations[route[i+1]][1], locations[route[i+1]][0]
    plt.plot([x1, x2], [y1, y2], 'r-')

plt.title(f'Rute Distribusi (Total Jarak: {total_distance:.2f} km)')
plt.xlabel('Longitude')
```



```
route.append(0)  # kembali ke awal

# 8. Hitung total jarak
total_distance = sum(haversine(locations[route[i]], locations[route[i+1]]) for i in range(len(route)-1))

# 9. Tampilkan hasil
print("Urutan kunjungan (Christofides):")
print(route)
print(f"\nTotal jarak: {total_distance:.2f} km")

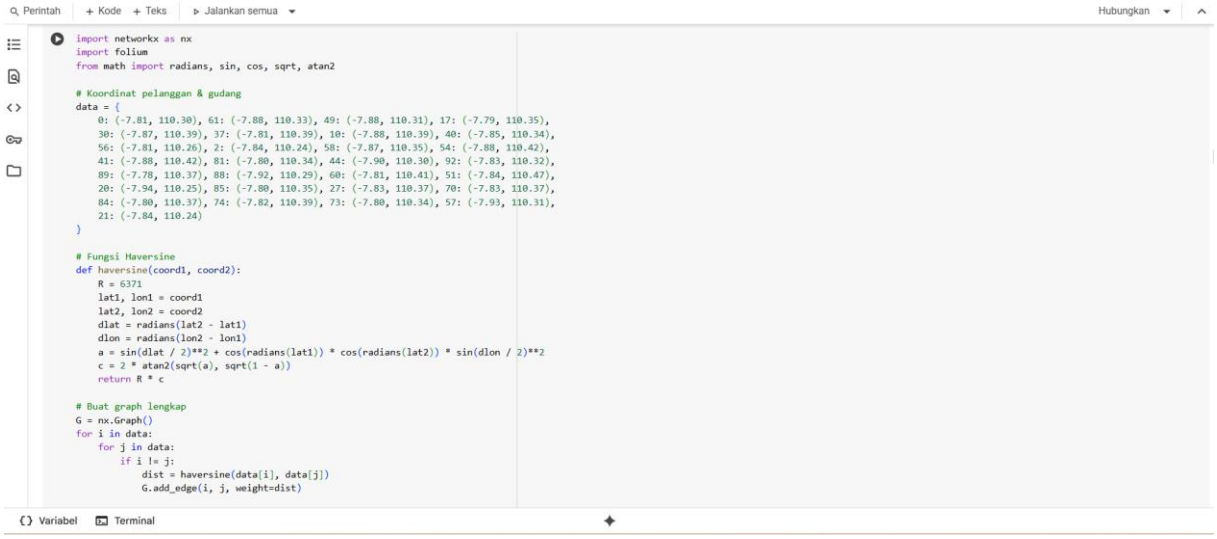
# 10. Visualisasi
plt.figure(figsize=(10, 8))
for i in locations:
    x, y = locations[i][1], locations[i][0]
    plt.scatter(x, y, color='blue')
    plt.text(x, y, str(i), fontsize=9, ha='right')

for i in range(len(route) - 1):
    x1, y1 = locations[route[i]][1], locations[route[i]][0]
    x2, y2 = locations[route[i+1]][1], locations[route[i+1]][0]
    plt.plot([x1, x2], [y1, y2], 'r-')

plt.title(f'Rute Distribusi (Total Jarak: {total_distance:.2f} km)')
plt.xlabel('Longitude')
plt.ylabel('Latitude')
plt.grid(True)
plt.show()
```

```
Urutan kunjungan (Christofides):
[0, 56, 2, 21, 20, 88, 57, 44, 49, 61, 58, 40, 27, 70, 74, 37, 84, 89, 17, 85, 73, 81, 60, 51, 54, 41, 10, 30, 92, 0]

Total jarak: 95.79 km
```

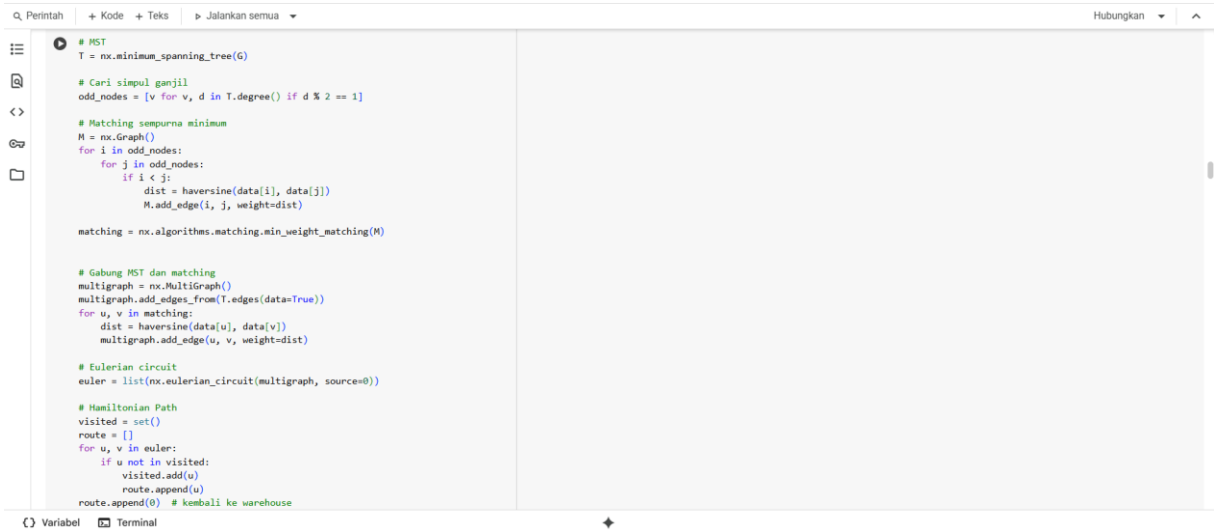


```
import networkx as nx
import folium
from math import radians, sin, cos, sqrt, atan2

# Koordinat pelanggan & gudang
data = {
    0: (-7.81, 110.30), 61: (-7.88, 110.33), 49: (-7.88, 110.31), 17: (-7.79, 110.35),
    30: (-7.87, 110.39), 37: (-7.81, 110.39), 10: (-7.88, 110.39), 40: (-7.85, 110.34),
    56: (-7.81, 110.26), 2: (-7.84, 110.24), 58: (-7.87, 110.35), 54: (-7.88, 110.42),
    41: (-7.88, 110.42), 81: (-7.80, 110.34), 44: (-7.90, 110.30), 92: (-7.83, 110.32),
    89: (-7.78, 110.37), 88: (-7.92, 110.29), 60: (-7.81, 110.41), 51: (-7.84, 110.47),
    20: (-7.94, 110.25), 85: (-7.80, 110.35), 27: (-7.83, 110.37), 70: (-7.83, 110.37),
    84: (-7.80, 110.37), 74: (-7.82, 110.39), 73: (-7.80, 110.34), 57: (-7.93, 110.31),
    21: (-7.84, 110.24)
}

# Fungsi Haversine
def haversine(coord1, coord2):
    R = 6371
    lat1, lon1 = coord1
    lat2, lon2 = coord2
    dlat = radians(lat2 - lat1)
    dlon = radians(lon2 - lon1)
    a = sin(dlat / 2)**2 + cos(radians(lat1)) * cos(radians(lat2)) * sin(dlon / 2)**2
    c = 2 * atan2(sqrt(a), sqrt(1 - a))
    return R * c

# Buat graph lengkap
G = nx.Graph()
for i in data:
    for j in data:
        if i != j:
            dist = haversine(data[i], data[j])
            G.add_edge(i, j, weight=dist)
```



```
# MST
T = nx.minimum_spanning_tree(G)

# Cari simpul ganjil
odd_nodes = [v for v, d in T.degree() if d % 2 == 1]

# Matching sempurna minimum
M = nx.Graph()
for i in odd_nodes:
    for j in odd_nodes:
        if i < j:
            dist = haversine(data[i], data[j])
            M.add_edge(i, j, weight=dist)

matching = nx.algorithms.matching.min_weight_matching(M)


# Gabung MST dan matching
multigraph = nx.MultiGraph()
multigraph.add_edges_from(T.edges(data=True))
for u, v in matching:
    dist = haversine(data[u], data[v])
    multigraph.add_edge(u, v, weight=dist)

# Eulerian circuit
euler = list(nx.eulerian_circuit(multigraph, source=0))

# Hamiltonian Path
visited = set()
route = []
for u, v in euler:
    if u not in visited:
        visited.add(u)
        route.append(u)
route.append(0)  # kembali ke warehouse
```



```
multigraph.add_edges_from(T.edges(data=True))
for u, v in matching:
    dist = haversine(data[u], data[v])
    multigraph.add_edge(u, v, weight=dist)

# Eulerian circuit
euler = list(nx.eulerian_circuit(multigraph, source=0))

# Hamiltonian Path
visited = set()
route = []
for u, v in euler:
    if u not in visited:
        visited.add(u)
        route.append(u)
route.append(0)  # kembali ke warehouse

# Hitung total jarak
total_distance = sum(haversine(data[route[i]], data[route[i+1]]) for i in range(len(route)-1))
print("Urutan kunjungan:", route)
print(f"Total jarak: {total_distance:.2f} km")

# Visualisasi peta
m = folium.Map(location=data[0], zoom_start=12)

# Titik-titik
for i in data:
    color = 'red' if i == 0 else 'blue'
    folium.Marker(location=data[i], popup=f"ID: {i}", icon=folium.Icon(color=color)).add_to(m)

# Gambar rute
for i in range(len(route)-1):
    folium.PolyLine([data[route[i]], data[route[i+1]]], color='green').add_to(m)

m
```

E1-DOKUMENTASI



