

Optimasi Rute Pendistribusian Produk Pelumas Kendaraan Menggunakan Algoritma Genetika: Studi Kasus

Route Optimization for the Distribution of Vehicle Lubricants Using Genetic Algorithm: A Case Study

Kenzie Dwianugerah Delu ^{a,1}, Yelita Anggiane Iskandar ^{a,2*}

^a Department of Logistics Engineering, Universitas Pertamina, Jakarta 12220, Indonesia

¹ 102418128@student.universitaspertamina.ac.id, ^{2*} yelita.ai@universitaspertamina.ac.id

*corresponding e-mail: yelita.ai@universitaspertamina.ac.id

ABSTRACT

This study originally arose because there was a change in Total Distributor Demand (TDP) for vehicle lubricants since the Covid-19 pandemic hit. Coupled with the enforcement of community activity restrictions (PPKM) which forces people to work from home so that private vehicles are rarely used unless there is a special need. These changes have an impact on the lubricant distribution system, especially in the Greater Jakarta area. Because the distribution changes of lubricants continue during and after the pandemic, it is necessary to periodically reoptimize the routes in order to minimize transportation costs and ensure that goods arrive at their destination in the right amount, using the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) model. To speed up the search for solutions, a metaheuristic method namely the genetic algorithm (GA) is used to facilitate solutions search even on new data without the need for a complete remodeling. The GA aims to reduce transportation costs from the Depot Supply Point (DSP) to the distributors. The data required consists of the type and number of vehicles, demand profile, distance matrix between the depot and the distributors, costs related to transportation activities, and others. The proposed method provides a scientific alternative for managing the distribution route of vehicle lubricant products in the company. The best solution for determining the optimal vehicle travel route with the limitation of Total Distributor Demand is Scenario 4. The combination of routes produced by Scenario 4 is five routes with a total vehicle distance of 372.1 km.

Keywords : *Vehicle Lubricant, Capacitated Vehicle Routing Problem, Distribution Route Optimization, Metaheuristics, Genetic Algorithm*

ABSTRAK

Studi ini awalnya muncul karena adanya perubahan Total Permintaan Distributor (TDP) pelumas kendaraan sejak pandemi Covid-19 melanda. Ditambah lagi dengan pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) yang memaksa orang-orang bekerja dari rumah menyebabkan kendaraan pribadi jarang digunakan kecuali ada keperluan khusus. Perubahan tersebut berdampak pada sistem distribusi pelumas khususnya di wilayah Jabodetabek. Karena perubahan distribusi pelumas terus terjadi selama dan setelah pandemi, maka perlu dilakukan optimasi ulang rute secara berkala untuk meminimalkan biaya transportasi dan memastikan

barang sampai di tempat tujuan dengan jumlah yang tepat, menggunakan model *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*. Untuk mempercepat pencarian solusi, digunakan metode metaheuristik yaitu algoritma genetika (GA) sehingga memudahkan pencarian solusi bahkan pada data baru tanpa perlu melakukan pemodelan ulang secara lengkap. GA bertujuan untuk mengurangi biaya transportasi dari *Depot Supply Point (DSP)* ke distributor. Data yang dibutuhkan terdiri dari jenis dan jumlah kendaraan, profil permintaan, matriks jarak antara depo dan distributor, biaya terkait kegiatan transportasi, dan lain-lain. Metode yang diusulkan memberikan alternatif ilmiah untuk mengatur jalur distribusi produk pelumas kendaraan di perusahaan amatan. Didapatkan solusi terbaik penentuan rute perjalanan kendaraan yang optimal dengan batasan Total Permintaan Distributor yaitu Skenario 4. Kombinasi rute yang dihasilkan Skenario 4 yaitu sebanyak lima rute dengan total jarak tempuh kendaraan 372,1 km.

Kata kunci : Pelumas Kendaraan, *Capacitated Vehicle Routing Problem*, Optimasi Rute Distribusi, Metaheuristik, dan Algoritma Genetika

A. Pendahuluan

Sejak pandemi Covid-19 melanda Indonesia pada tahun 2020, aktivitas bisnis di berbagai perusahaan terdampak secara signifikan. Penjualan minyak pelumas atau pelumas kendaraan bermotor pun turut terdampak. Penurunan pasar pelumas ini menyebabkan sejumlah industri terkait harus melakukan improvisasi atau mengubah rantai pasoknya, khususnya pada sektor transportasinya. Adaptasi strategi bisnis perlu dilakukan untuk menghadapi dampak setelah pandemi, seperti pembaruan sistem distribusi. Permasalahan distribusi ini diangkat karena terjadi perubahan Jumlah Permintaan Distributor (TDP) pelumas kendaraan bermotor sejak beberapa waktu terakhir. Ditambah lagi dengan penerapan Pemberlakuan Pembatasan Kegiatan Masyarakat (PPKM) pada masa pandemi bahkan sebagiannya hingga saat ini, yang membuat warga harus

bekerja dari rumah sehingga kendaraan pribadi jarang digunakan, dibandingkan dengan masa sebelum pandemi. Perubahan tersebut berdampak pada sistem distribusi pelumas, khususnya di wilayah Jabodetabek. Karena distribusi pelumas terus berubah selama dan setelah pandemi Covid-19, maka perlu dilakukan re-optimasi untuk meminimalkan biaya transportasi dan memastikan produk sampai di tempat tujuan dalam jumlah yang tepat secepat mungkin.

Kegiatan pendistribusian produk memegang peranan penting bagi perusahaan dan juga jaringan rantai pasoknya. Terkait hal tersebut, perusahaan harus dapat mengambil keputusan terkait masalah transportasi sesegera mungkin (Frutos & Tohmé, 2012). Permasalahan distribusi merupakan permasalahan yang kompleks, salah satunya karena melibatkan banyak titik data dan cakupan wilayahnya

yang tersebar. Selain itu, keberhasilan kegiatan distribusi juga dipengaruhi oleh ketersediaan dan kondisi berbagai infrastruktur pendukung di berbagai lokasi. Oleh karena itu, solusi yang dapat diberikan untuk mengatasi permasalahan semacam ini pun beragam. Permasalahan distribusi pada prinsipnya mirip dengan masalah penugasan truk atau *truck assignment problem* (TAP), yakni terkait dengan penentuan rute distribusi yang optimal, untuk meminimalkan jarak dan biaya transportasi. Namun tingkat kompleksitas permasalahan distribusi berbeda-beda, tergantung pada jumlah dan jenis faktor yang dipertimbangkan dalam model.

Obyek yang diamati dalam penelitian ini adalah perusahaan yang bergerak di bidang pengolahan dan pemasaran pelumas dan gemuk, tidak hanya untuk kebutuhan nasional Indonesia tetapi juga permintaan ekspor. Produk-produknya cocok untuk banyak keperluan, yaitu untuk otomotif, industri, dan luar negeri. Dalam lingkup otomotif, produk-produknya dapat digunakan untuk berbagai jenis kendaraan, tidak terbatas pada sepeda motor saja tapi juga bisa untuk kendaraan roda empat atau lebih seperti truk dan bus. Perusahaan ini didirikan untuk memperkuat bisnis *holding company* dengan mengambil spesialisasi di bidang pelumas kendaraan. *Holding*

company membagi kegiatan usahanya berdasarkan jenis produk yang dikelolanya, yaitu pelumas untuk mobil dan sepeda motor, gemuk, pelumas untuk kebutuhan industri, hingga produk-produk khusus yang berbahan dasar oli dengan banyak varian.

Untuk memenuhi kebutuhan dan harapan pelanggan, perusahaan menggunakan proses pengujian laboratorium yang ketat hingga ke struktur molekul, disertai penerapan teknologi canggih yang didukung oleh tim *Research & Development* (R&D) yang diakui secara internasional untuk menghasilkan produk berkualitas yang dapat bersaing secara nasional dan global. Kualitas produk perusahaan diketahui memiliki standar ISO 9001:2015, ISO 14001:2015, dan ISO/IEC 17025:2008, yang memverifikasi kepatuhan sistem manajemen lingkungan dan kualitas mereka terhadap persyaratan perdagangan internasional. Pelumas dan gemuk yang diproduksi perusahaan juga telah mendapat pengakuan dari dunia otomotif, seperti Toyota, Mitsubishi, Daihatsu, Volvo, Mercedes Benz, dan BMW.

Sejak pandemi Covid-19 melanda Indonesia di awal tahun 2020, aktivitas bisnis di berbagai perusahaan terdampak cukup signifikan, tak terkecuali bisnis

perusahaan pelumas ini. Penjualan pelumas atau *grease* secara nasional diketahui sempat anjlok sejak Covid-19 di mana secara spesifik terjadi penurunan penjualan pelumas sekitar 10-20% dibanding tahun 2019 (Rahayu, 2020). Sebelumnya, penurunan ini diprediksi hanya bersifat sementara, artinya situasi diperkirakan akan membaik di kemudian hari saat pandemi mereda. Namun kemudian disadari bahwa penurunan ini berdampak serius pada sejumlah produsen pelumas.

Studi ini menggunakan model *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan kapasitas terbatas yang dikenal sebagai *Capacitated VRP* (CVRP). VRP dasar sendiri diakui sebagai salah satu penugasan optimasi kombinatorial yang paling menantang atau sulit diselesaikan (Volna, 2015). VRP diketahui memainkan faktor kunci dalam manajemen transportasi (Yusuf, Baba, & Iksan, 2014), yaitu digunakan untuk memecahkan masalah distribusi, yang dalam kasus ini adalah pelumas di perusahaan yang diamati dalam rangka memberikan alternatif bagi pengaturan rute manual mereka saat ini yang membutuhkan banyak waktu dalam pengerjaannya. Model VRP dikembangkan untuk memecahkan masalah perutean armada, serta mengoptimalkan rute distribusinya dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti

jumlah permintaan pesanan dan jumlah armada yang digunakan, yang bertujuan untuk melayani serangkaian pelanggan dengan permintaan yang masing-masingnya diketahui (Silverstrin & Ritt, 2014). Situasi VRP fundamental dijelaskan terdiri dari beberapa pelanggan yang harus dikunjungi di mana masing-masing dilengkapi informasi berat produk yang pasti untuk diangkut (Baker & Ayechev, 2003). Dalam skema VRP, kendaraan dikirim dari satu depot yang membawa produk dan kemudian dikembalikan ke depot setelah menyelesaikan semua perintah pengiriman yang diperlukan. Selain itu, hanya satu kendaraan yang diizinkan untuk mengunjungi setiap pelanggan. Masalah pada studi ini adalah menemukan serangkaian rute pengiriman/distribusi yang memenuhi semua persyaratan yang disebutkan yakni yang memberikan total biaya minimum yang disesuaikan dengan ketentuan jumlah kendaraan. Istilah meminimalkan total jarak yang ditempuh digunakan dalam studi ini sebagai bagian dari fungsi tujuan. Ditambah dengan pertimbangan kapasitas, CVRP adalah salah satu studi paling signifikan di bidang distribusi logistik (Ren, 2012). Singkatnya, CVRP biasanya dimanfaatkan untuk menentukan sejumlah rute maksimum yang meminimalkan total biaya

di mana setiap rute dimulai dan berakhir di depot, dengan permintaan untuk setiap rute tidak melebihi kapasitas kendaraan (Nazif & Lee, 2012).

VRP dianggap sebagai masalah optimasi *NP-hard* (*NP-nondeterministic polynomial time*) (Sajid, et al., 2021) yang dicirikan sebagai masalah optimasi kombinatorial yang kompleks (Masum, Shahjalal, Faruque, & Sarker, 2011) sehingga tidak ada algoritma eksak yang efisien yang dapat memberikan solusi dalam waktu polinomial (Abidi, Hassine, & Mguis, 2018; Kallel & Boujelbene, 2013). NPO (*NP Optimization*) seperti CVRP telah menarik minat banyak orang selama bertahun-tahun, baik di sektor akademis maupun industri (Feld, et al., 2019). Untuk jenis masalah ini, di mana waktu komputasi yang dibutuhkan meningkat secara eksponensial dengan peningkatan ukuran masalah, solusi yang dicari adalah solusi yang dapat diperoleh dalam waktu singkat dengan akurasi yang baik, oleh karena itu metode heuristik atau metaheuristik sesuai untuk digunakan (Cheng, 2005) dan umumnya lebih sesuai untuk aplikasi praktis (Awada & Elshaer, 2018) meskipun solusi VRP dapat ditemukan menggunakan optimasi matematika hanya jika ukuran masalahnya kecil. Pendekatan metaheuristik untuk memecahkan model VRP, yaitu algoritma

genetika (GA) (De la Hoz Domínguez, Segura, & Mendoza, 2013). GA dikenal tangguh karena dapat digunakan untuk memecahkan berbagai jenis masalah tanpa mengubah algoritma (Wester, 1993) dan telah banyak digunakan sebagai metode pencarian untuk masalah kompleks seperti VRP di mana solusi yang layak dijamin jika memang ada (Abidi, Hassine, & Mguis, 2018). Contoh penerapan metaheuristik pada model VRP dan perluasannya juga banyak (Gendreau, Potvin, Bräumlaysy, & Hasle, 2008), yaitu *Ant Colony Optimization* (ACO), *Greedy Randomized Adaptive Search Procedure* (GRASP), *Simulated Annealing* (SA), *Tabu Search* (TS), *Variable Neighbourhood Search* (VNS), dan *Genetic Algorithm* (GA). Kelompok VRP lainnya seperti VRP dengan *time windows* (VRPTW), VRP dengan *backhaul* (VRPB), VRP dengan *pick-up and delivery* (VRPPD), VRP dengan *multiple uses of vehicles*, VRP dengan *multiple depot* (MDVRP), VRP dengan keterbatasan kapasitas (CVRP), *vehicle fleet size*, mix VRP (FSMVRP), VRP dengan *multiple depot* (MDVRP), dan *dynamic VRP* juga dapat diselesaikan menggunakan metaheuristik.

GA merupakan salah satu metode yang erat kaitannya dengan teori evolusi biologi yang dikembangkan berdasarkan teori

evolusi alamiah (De Araujo Limaa & De Araújo, 2020) yang merepresentasikan prinsip-prinsip alam bahwa yang terkuatlah yang akan bertahan paling lama (Hartanto, Furqan, Siahaan, & Fitriani, 2017). GA dapat menyelesaikan berbagai permasalahan transportasi dengan memberikan solusi yang layak dan tidak melanggar batasan yang telah ditetapkan dengan mengizinkan seluruh ruang pencarian (Vaira & Kurasova, 2014) serta dapat memberikan solusi yang lebih baik untuk VRP dengan upaya komputasi yang lebih sedikit (De Araujo Limaa & De Araújo, 2020; Goldberg & Holland, 1988). Sebuah penelitian (Kim, Lee, Jung, & Sadollah, 2016) menunjukkan perbandingan kinerja beberapa metaheuristik yang dapat digunakan sebagai panduan dalam pemilihan algoritma. Sebanyak delapan algoritma optimasi diuji kinerjanya, yaitu *Random Search* (RS), SA, *Particle Swarm Optimization* (PSO), *Water Cycle Algorithm* (WCA), GA, *Differential Evolution* (DE), *Harmony Search* (HS), dan *Cuckoo Search* (CS). Tiga algoritma: PSO, GA, dan HS menunjukkan kinerja yang baik secara keseluruhan dan mengungguli yang lainnya. Selain itu, algoritma dengan fitur pencarian global yang kuat seperti DE dan GA menunjukkan kinerja yang lebih

baik dalam menghindari optima lokal. Karena keunggulan ini, kami menerapkan GA untuk menyelesaikan masalah distribusi pelumas dengan model CVRP di mana matriks jarak antara lokasi dihitung menggunakan rute perjalanan aktual peta Google (*gmaps*). Semua percobaan dilakukan dengan tujuan akhir untuk mengidentifikasi solusi yang dapat direkomendasikan kepada perusahaan mengenai sistem distribusi mereka di wilayah Jabodetabek. Tujuan lain dari penelitian ini adalah menentukan rute distribusi terpendek dan untuk menilai biaya transportasi rata-rata distribusi pelumas yang dikeluarkan melalui penerapan solusi rute yang direkomendasikan.

B. Metodologi Penelitian

Capacitated Vehicle Routing Problem

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan permasalahan optimasi untuk menentukan rute distribusi jika terdapat kendala kapasitas kendaraan yang dapat diangkut untuk melayani pelanggan di sejumlah titik tujuan dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jumlah armada dan jumlah pesanan yang masuk. Beberapa asumsi yang umum digunakan dalam CVRP adalah (Silverstrin & Ritt, 2014):

1. Kendaraan yang digunakan untuk distribusi hanya satu jenis.
2. Kendaraan hanya dapat mengunjungi pelanggan satu kali.
3. Setiap kendaraan berangkat dari depo dan kembali ke depo tersebut setelah memenuhi permintaan semua pelanggan dalam rutenya. Setiap pelanggan memiliki permintaan tetapnya sendiri dan sudah diketahui sebelumnya.

(Goldberg D. , 1989) memodelkan CVRP dalam bentuk grafik $G = (N, A)$ yang merepresentasikan himpunan pelanggan C dan depo (titik awal). Himpunan C dilambangkan sebagai simpul 1 sampai n dan simpul depo adalah 0 dan $n + 1$. A merupakan himpunan berarah yang dilambangkan sebagai penghubung antar simpul, atau dapat juga disebut sebagai himpunan jaringan jalan yang akan dilalui oleh kendaraan. Pada CVRP ini, rute dimulai dari 0 sampai $N + 1$. Himpunan K merupakan kendaraan homogen yang masing-masing berkapasitas Q . Setiap simpul i pada himpunan N memiliki total permintaan d_i , sehingga kendaraan akan dibatasi pada kapasitas maksimumnya saat melakukan perjalanan. Himpunan jarak tempuh kendaraan dilambangkan sebagai c_{ij} (jarak atau biaya simpul i ke j). CVRP

dalam bentuk matematis adalah sebagai berikut:

Fungsi objektif:

$$\text{Minimasi} = \sum_{k=1}^K \sum_{i=0}^{N+1} \sum_{j=0}^{N+1} c_{ij} x_{ijk} \quad (1)$$

Fungsi kendala:

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=0}^{N+1} x_{ijk} = 1; i = 1, 2, \dots, N \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^N d_i \sum_{j=0}^{N+1} x_{ijk} \leq Q; k = 1, 2, \dots, K \quad (3)$$

$$\sum_{j=0}^{N+1} x_{0jk} = 1; k = 1, 2, \dots, K \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{N+1} x_{ihk} - \sum_{j=0}^{N+1} x_{hjk} = 0; h = 1, 2, \dots, N; k = 1, 2, \dots, K \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^{N+1} x_{1k,N+1} = 1; k = 1, 2, \dots, K \quad (6)$$

$$x_{ijk} \in \{0, 1\}, i = 0, 2, \dots, N + 1; k = 1, 2, \dots, K \quad (7)$$

Batasan (3) ditetapkan untuk memastikan pelanggan dikunjungi tepat satu kali oleh kendaraan. Batasan (4) memastikan bahwa total muatan pelanggan dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan. Batasan (5) memastikan bahwa setiap rute dimulai dari depo. Batasan (6) memastikan bahwa setiap kendaraan yang mengunjungi pelanggan, setelah melayani pelanggan, akan pergi. Batasan ini (7) memastikan bahwa setiap rute berakhir di depo. Batasan variabel keputusan x_{ijk} adalah bilangan bulat dan biner (8).

Variabel keputusan:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika kendaraan } k \text{ melayani pelanggan } i \text{ lalu pelanggan } j \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

Dengan:

K = Jumlah kendaraan, masing-masing dengan kapasitas tertentu

N = Himpunan *node* (titik pelanggan) termasuk depot

c_{ij} = Jarak atau biaya dari pelanggan i ke pelanggan j

d_j = Permintaan pelanggan i

Q = Kapasitas kendaraan

Genetic Algorithm

GA termasuk dalam algoritma optimasi numerik yang terinspirasi oleh seleksi alam dan genetika yang melibatkan kromosom. Dibandingkan dengan algoritma lain, GA relatif mudah dipahami dan dimodifikasi, dan kode komputer yang dibutuhkan juga mudah ditulis sehingga menjadikannya alat yang ampuh dalam implementasi industri dari bidang apa pun. GA juga dikenal lebih cepat dan lebih efisien jika dibandingkan dengan metode pencarian *brute-force* tradisional (Kim, Lee, Jung, & Sadollah, 2016). Faktor lain dalam penggunaan GA adalah bahwa GA sering berhasil dipakai untuk banyak situasi.

Tahapan pengerjaan GA menurut (Goldberg D. , 1989), diuraikan secara

singkat sebagai berikut: 1) Membangkitkan populasi awal, yang bersifat acak; 2) Menghitung fungsi *fitness*, 3) Memilih individu (kromosom) yang paling cocok; 4) Membangkitkan populasi baru melalui proses persilangan dan mutasi; 5) Memastikan setiap rute dimulai dari depot; dan 6) Mendapatkan populasi terbaik yang terdiri dari beberapa individu. Dalam implementasi GA, kita akan lebih dekat dengan teori evolusi kromosom dimana setiap kromosom akan melalui suatu proses sesuai dengan teori evolusi, yaitu:

1. Kromosom akan melakukan operasi evolusi yang melibatkan proses seleksi dimana kromosom yang terpilih akan ditetapkan sebagai induk.
2. Setiap kromosom juga melakukan operasi genetik yang melibatkan *crossover* untuk menghasilkan pasangan baru, dengan menggabungkan sepasang orang tua (induk) menjadi apa yang disebut kromosom anak atau keturunan.
3. Setiap kromosom juga melakukan operasi genetik yang melibatkan mutasi untuk menghasilkan kromosom baru (perubahan struktur kromosom sebelumnya).

GA bekerja dengan menghasilkan populasi yang terdiri dari individu-individu

(kromosom) yang mewakili solusi dari masalah tersebut. Dalam algoritma ini, individu-individu memiliki nilai kesesuaian (*fitness*) yang digunakan untuk menemukan solusi optimal atau mendekati optimal untuk suatu masalah. Untuk memulai, kita

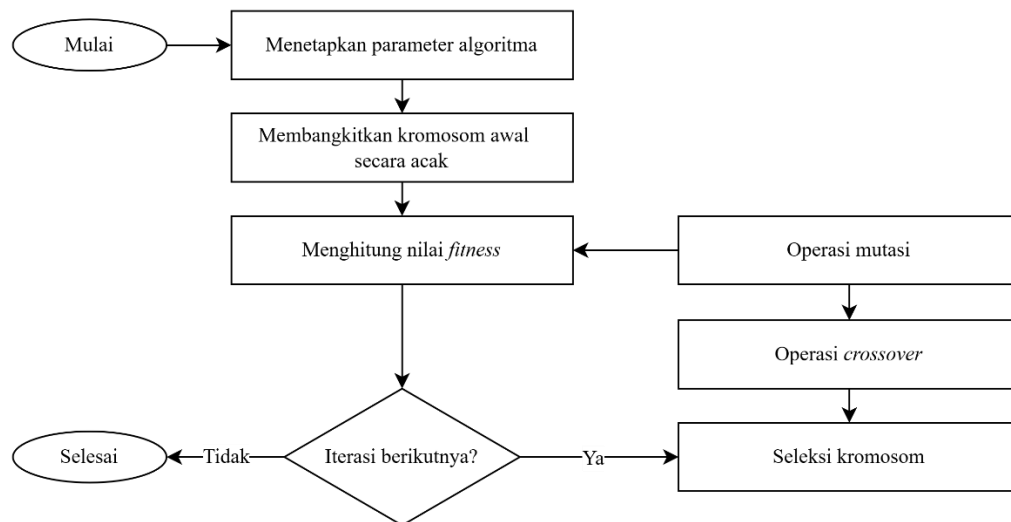
perlu mendefinisikan ruang yang digunakan sebagai representasi solusi. Ruang tersebut dikodekan dalam bentuk kromosom atau susunan *string* yang terdiri dari nilai-nilai genetik yang mengisi ruang pada setiap kromosom.

Tabel 1. Ilustrasi Dekode Kromosom

Vehicle/mode	Route						
1	1	2	3	4	..	N	→ Chromosome
2	2	3	1	5	..	N	
3							
4							
..							
K							

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah representasi CVRP yang akan diselesaikan menggunakan GA, dengan mengetahui jumlah titik permintaan/tujuan beserta bobot permintaan yang harus dipenuhi, serta jumlah kendaraan yang

tersedia, *K*, masing-masing dengan batas kapasitas. Solusi dihasilkan dalam bentuk beberapa kombinasi rute yang masing-masing rute disajikan seperti pada Traveling Salesman Problem (TSP).



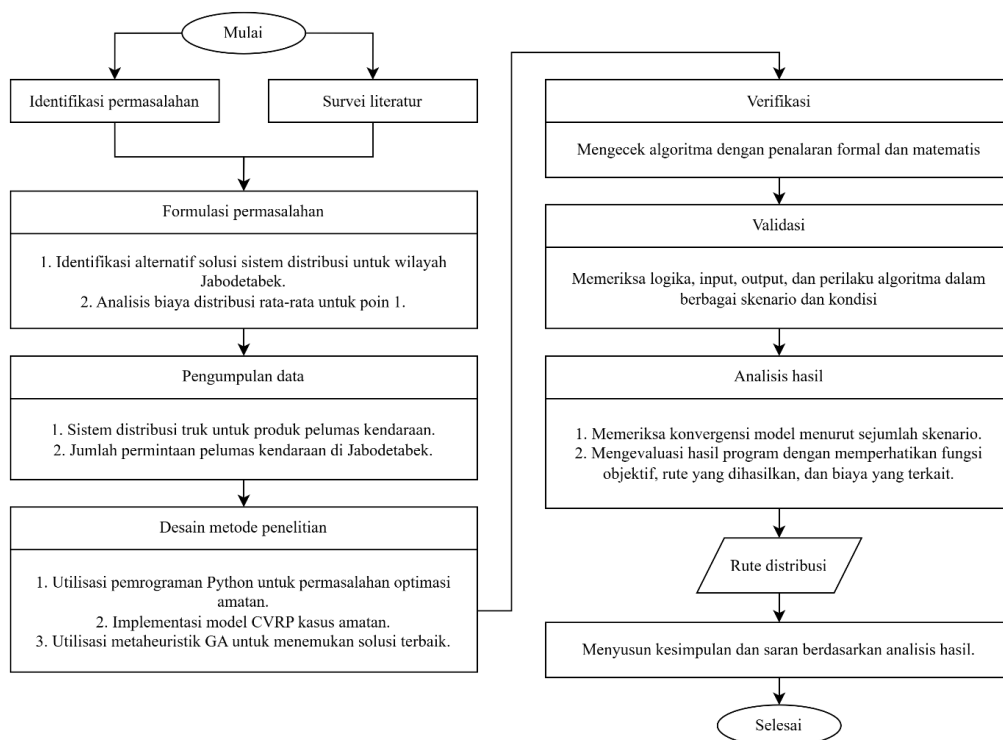
Gambar 1. Aliran Operasi *Genetic Algorithm*

Tabel 1 menunjukkan representasi kromosom, setiap *string* memiliki nilai numerik N yang menggambarkan titik tujuan. Setiap kromosom menunjukkan solusi terbaik (nilai terbaik) dari populasi yang dihasilkan di mana setiap *set* rute akan ditentukan berdasarkan batas kapasitas kendaraan. Sebelum melakukan pencarian komputasional menggunakan GA di Python, hal-hal berikut harus dilakukan, seperti yang juga digambarkan pada Gambar 1:

1. Definisikan kromosom individu, sebagai representasi solusi masalah.
2. Definisikan nilai *fitness* yang merupakan nilai standar dalam

mengukur kelayakan suatu individu sebagai solusi permasalahan.

3. Tentukan proses pembuatan populasi awal. Pembuatan populasi awal dapat dilakukan dengan berbagai cara, untuk penelitian ini kami menggunakan generator acak.
4. Menentukan proses seleksi, pada penelitian ini menggunakan proses seleksi metode roda *roulette*.
5. Menentukan proses *crossover*, pada penelitian ini menggunakan *one point crossover*.
6. Menentukan proses mutasi, pada penelitian ini menggunakan proses mutasi biner.



Gambar 2. Metodologi Penelitian

Metodologi digunakan untuk memperkuat suatu teori atau argumen yang didukung oleh survei literatur. Penelitian ini berfokus pada permasalahan optimasi rute distribusi pelumas perusahaan. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan solusi terhadap permasalahan dalam pemilihan rute lokasi melalui penyusunan urutan dan langkah penyelesaian masalah secara sistematis. Diagram alir metodologi penelitian penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.

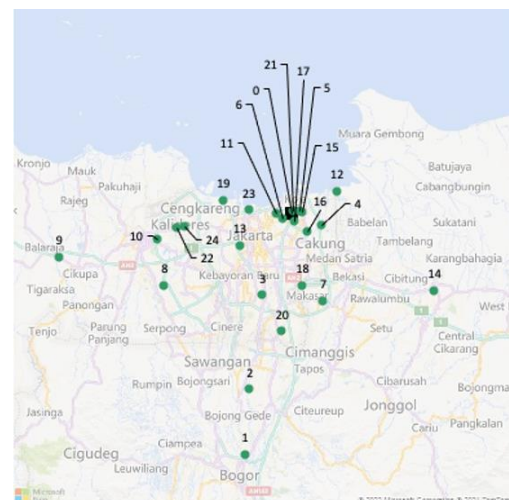
C. Hasil dan Pembahasan

Pelumas yang didistribusikan bervariasi dalam ukuran, mulai dari drum hingga ukuran per kotak yang akan dikirim melalui truk. Data yang digunakan dalam model tersebut meliputi *Total Distributor Request* (TDR), kapasitas kendaraan, lokasi distributor dan depo (kotak hitam) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3, dan biaya transportasi. Jenis truk yang digunakan untuk mendistribusikan pelumas adalah truk *Colt Diesel Double* (CDD) dengan kapasitas maksimum masing-masing 5.500 kg. TDR untuk setiap pelanggan, 1-24 adalah 780, 1.225, 4.256, 1.920, 1.200, 495, 720, 2.431, 1.466, 1.507, 864, 2.300, 526, 2.063, 562, 612, 710, 1.440, 1.180, 650, 1.000, 1.639, 631, dan 1.400 kg. Data

koordinat lokasi depo dan distributor digunakan untuk menghitung jarak antara depo dan distributor, serta jarak antara distributor dan distributor lainnya, khususnya menggunakan Google Maps.

Pengaturan Parameter

Dalam GA, perlu untuk menetapkan parameter sebelum menjalankan eksperimen dan untuk mendapatkan solusi optimal. Parameter tersebut adalah ukuran populasi, laju iterasi, laju *crossover* (probabilitas terjadinya *crossover*), dan laju mutasi (probabilitas terjadinya mutasi). Dua pengaturan parameter perlu diubah untuk mendapatkan hasil yang berbeda, yaitu laju *crossover* dan laju mutasi dengan rentang nilai 0 hingga 1. Dalam eksperimen ini, dibuat 6 skenario sementara ukuran populasi dan nilai iterasi akan tetap, yaitu 24 (jumlah distributor) dan 5.000.

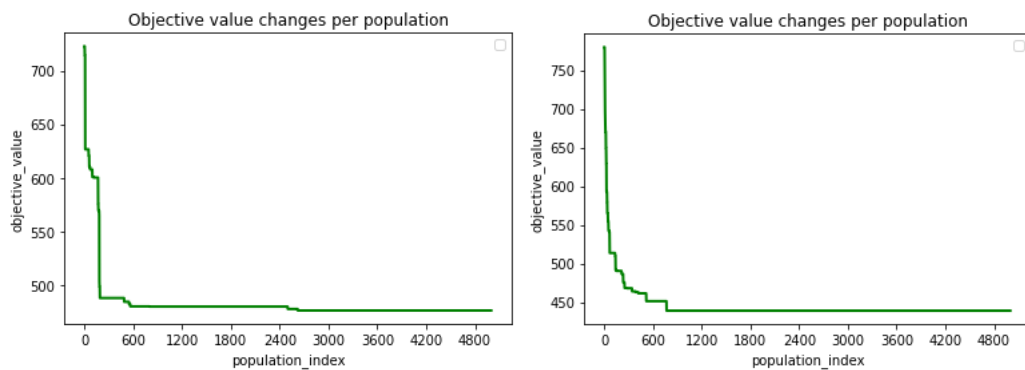


Gambar 3. Lokasi Depot dan Pelanggan

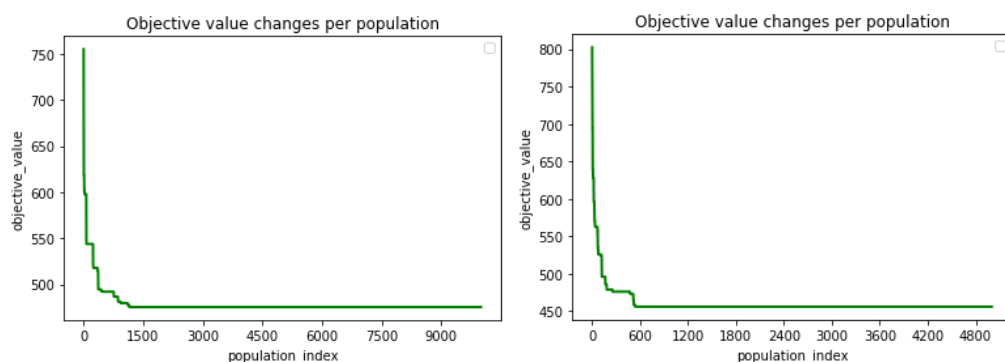
Analisis Konvergensi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui perubahan hasil setiap iterasi. Secara umum, semakin banyak iterasi suatu program, maka peluang untuk mendapatkan hasil yang optimal atau mendekati optimal akan semakin besar. Data hasil terbaik (nilai objektif optimal) dari setiap iterasi akan disimpan, kemudian data tersebut ditampilkan dalam bentuk *plotting* grafik sederhana. Pengujian konvergensi

dilakukan terhadap hasil terbaik dari 5.000 iterasi. Hasil *plotting* grafik untuk setiap skenario dapat dilihat pada Gambar 4 sampai dengan Gambar 6. Pada Gambar 4 (kiri), grafik konvergensi Skenario 1 dengan *crossover rate* sebesar 0,6 dan *mutation rate* sebesar 0,01, setelah sekitar iterasi ke-2.500, tidak terjadi perubahan yang signifikan terhadap hasil (nilai objektif) yang ditunjukkan dengan garis lurus pada grafik.



Gambar 4. Grafik Konvergensi Skenario untuk Skenario 1 (kiri) dan 2 (kanan)



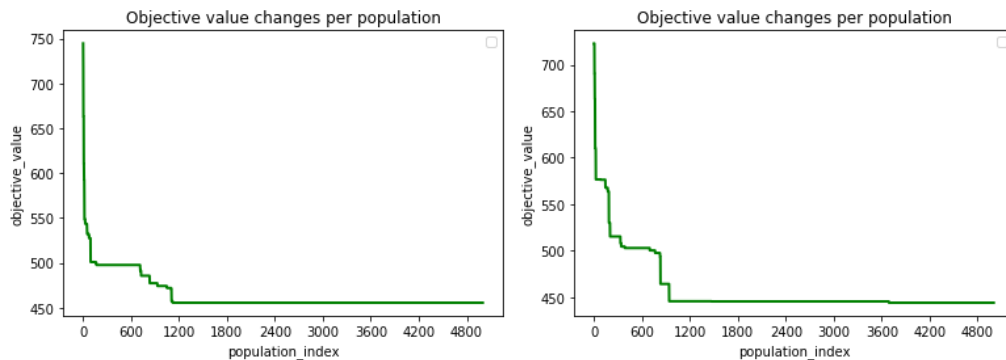
Gambar 5. Grafik Konvergensi Skenario untuk Skenario 3 (kiri) dan 4 (kanan)

Pada Gambar 5 grafik konvergensi Skenario 3 dan 4 dengan *crossover rate* 0,8 dan *mutation rate* 0,01 dan 0,05, setelah

1.500 dan 600 iterasi tidak terjadi perubahan signifikan pada hasil (nilai objektif), berlanjut hingga iterasi 5.000

sehingga dapat disimpulkan bahwa hasil tersebut dapat dikatakan optimal. Pada Gambar 6 grafik konvergensi Skenario 5 dan 6 dengan *crossover rate* 0,9 dan *mutation rate* 0,01 dan 0,05, setelah masing-masing sekitar 1.200 iterasi, tidak

terjadi perubahan signifikan pada hasil (nilai objektif). Pada grafik tersebut terbentuk garis lurus dari iterasi 1.200 hingga 5.000 sehingga hasil tersebut dapat dikatakan optimal.



Gambar 6. Grafik Konvergensi Skenario untuk Skenario 5 (kiri) dan 6 (kanan)

Hasil Percobaan

Setelah keadaan konvergensi tercapai, dilakukan eksperimen, dan hasilnya menunjukkan kombinasi rute perjalanan, jarak, dan biaya untuk setiap skenario. Untuk menentukan skenario terbaik, biaya merupakan hal terpenting yang perlu dipertimbangkan. Menurut perusahaan, biaya per liter untuk setiap kendaraan yang ditugaskan untuk mengirimkan produk merupakan faktor utama. Oleh karena itu, biaya per liter selama perjalanan dihitung

untuk setiap hasil dari skenario dengan hasil optimum terbaik dari Skenario 6 seperti yang dapat dilihat pada Tabel 2, dibandingkan dengan hasil eksperimen menggunakan Python OR-Tools pada Tabel 3. Total jarak untuk semua kendaraan lebih pendek di bawah skema GA sebesar $443 - 417,30 = 25,7$ km. Dan jumlah total produk yang dimuat sama di bawah kedua solusi, yaitu 31.577 kg yang menunjukkan bahwa semua pelanggan dapat dilayani, dan semua permintaan dapat dipenuhi.

Tabel 2. Hasil Eksperimen GA

Hasil Percobaan Komputasional	Total Jarak (km)	Total Berat (kg)	Biaya/ Liter (Rp)	Total Biaya/ Liter (Rp)
Total Jarak:	417.30			
Rute 1:	0-12-21-19-11-0	30.2	5,344	6.69
Rute 2:	0-7-9-1-2-17-0	123.6	4,901	10.51
Rute 3:	0-8-20-23-24-0	86.1	5,112	8.84
Rute 4:	0-5-13-10-14-0	101.6	5,296	9.02
Rute 5:	0-22-6-4-18-0	45.4	5,494	6.97
Rute 6:	0-15-3-16-0	30.4	5,430	6.59

Tabel 3. Hasil Eksperimen Menggunakan OR-Tools

Hasil Percobaan Komputasional	Total Jarak (km)	Total Berat (kg)
Total Jarak:	443	
Rute kendaraan 1:	0-17-3-6-0	41
Rute kendaraan 2:	0-9-1-10-13-5-0	170
Rute kendaraan 3:	0-2-7-14-18-0	96
Rute kendaraan 4:	0-4-21-12-0	33
Rute kendaraan 5:	0-24-23-20-8-0	83
Rute kendaraan 6:	0-19-11-22-15-16-0	20

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 merupakan gabungan rute dengan menggunakan simbol angka, untuk setiap skenario. Simbol angka atau kode menunjukkan lokasi depo dan distributor perusahaan. Berikut adalah contoh penjelasan rute, Rute Kendaraan 1: 0-12-21-19-11-0 merupakan rute Depo Supply Plumpang – PT Sinergi Karya Manunggal – PT Sali Lubindo Indonusa – PT Lobunta

Kencana Raya – PT Warso Dharma Utama – Depo Supply Plumpang, dengan total jarak tempuh 30,2 km dan membawa muatan produk pelumas sebanyak 5.344 kg. Secara total, jarak tempuh ke-6 kendaraan tersebut adalah 417,3 km dengan total muatan masing-masing kurang dari kapasitas maksimal satu kendaraan yaitu 5.500 kg.

Perhitungan biaya transportasi dilakukan menggunakan Ms. Excel, yaitu mencari biaya distribusi dalam satuan Rp/liter. Komponen biaya variabel yang diperhitungkan adalah bahan bakar, perawatan kendaraan, penggantian ban, dan pelumas. Diasumsikan bahwa untuk setiap 1 liter bahan bakar, truk dapat menempuh jarak 8 km maka kita dapat menghitung total biaya per liter per rute sebagai berikut:

Total biaya per liter and rute =

$$\frac{((r \times b_{km}) + b_{day}) / k}{8 \text{ km}} \quad (9)$$

Dengan:

r = Total biaya per kendaraan (km)

b_{km} = Total biaya per km (Rp)

b_{day} = Total biaya per hari (Rp)

k = Total berat per kendaraan (kg)

Contoh perhitungan biaya per liter Rute 1 adalah sebagai berikut:

Biaya per liter untuk rute 1

$$\begin{aligned} &= \frac{((r \times b_{km}) + b_{day}) / k}{8 \text{ km}} \\ &= \frac{((30.2 \text{ km} \times \text{Rp}1,351.74/\text{km}) + \text{Rp}245,000/\text{km}) / 5,344 \text{ kg}}{8 \text{ km}} \\ &= \text{Rp}6.69/\text{liter} \end{aligned}$$

Setelah menghitung biaya untuk setiap rute yang dihasilkan dari setiap skenario, kemudian dijumlahkan biaya per liter setiap

rute. Hasil total biaya per liter untuk Skenario 6 adalah Rp48,61/liter yang menunjukkan jarak total minimum. Solusi terbaik ditemukan pada Skenario 4. Kombinasi rute yang dihasilkan Skenario 4 yaitu sebanyak lima rute dengan total jarak tempuh kendaraan 372,1 km dengan total biaya per liter per truk adalah Rp51,53. Rincian rutenya adalah sebagai berikut:

- Rute 1 : 0-14-1-2-20-13-0
DSP Plumpang – PT Peralube Nusa Jaya – PT Cibadak Makmur Jaya – PT Samudra Jaya Segara – PT Sali Lubindo Indonusa – PT Mulya Mandiri Sakti – DSP Plumpang
- Rute 2 : 0-11-3-0
DSP Plumpang - PT Sinergi Karya Manunggal – PT Prabawa Parama – DSP Plumpang
- Rute 3 : 0-24-9-8-0
DSP Plumpang – PT Prabawa Parama – PT Sali Lubindo Indonusa– PT Duta Buana Perkasa – DSP Plumpang
- Rute 4 : 0-21-17-15-5-4-0
DSP Plumpang – PT Sukun Niaga Utama – PT Karunia Inti Saribumi – PT Barisan Nusantara Sentosa – PT Sadikun Niagamas Raya – PT

Warso Dharma Utama – DSP Plumpang

- Rute 5 : 0-10-22-24-23-0
DSP Plumpang – PT Wijaya Gita Utama – PT Warso Dharma Utama – PT Duta Buana Perkasa – PT Sumber Mas Intinusa – PT Dharma Wira Sentosa – DSP Plumpang
- Rute 6 : 0-16-18-7-12-0
DSP Plumpang – PT Sarana Langgeng Lestari – PT Lobunta Kencana Raya – PT Nesitor Sumber Agung – PT Kurniadi Perdana Graha – DSP Plumpang

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil percobaan dengan Algoritma Genetika dalam menentukan rute distribusi produk pelumas perusahaan dengan konsep *Capacitated Vehicle Routing Problem*, diperoleh solusi terbaik untuk perjalanan kendaraan pada Skenario 6. Kombinasi rute yang dihasilkan pada skenario ini adalah enam dengan total jarak tempuh kendaraan 417,3 km. Model dan solusi yang diusulkan ini memberikan alternatif solusi bagi permasalahan yang dihadapi perusahaan dalam mengatur distribusi yang selama ini masih dilakukan secara manual yang kurang optimal dan

memakan waktu. Untuk penelitian selanjutnya, dapat ditambahkan beberapa pertimbangan seperti komponen biaya tol, agar model yang dihasilkan lebih rinci.

E. Daftar Pustaka

- Abidi, H., Hassine, K., & Mguis, F. (2018). Genetic Algorithm for Solving A Dynamic Vehicle Routing Problem with Time Windows. *2018 International Conference on High Performance Computing & Simulation*.
- Awada, H., & Elshaer, R. (2018). An Effective Genetic Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem. *The International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. Bandung.
- Baker, M. B., & Ayechev, M. A. (2003). A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem. *Computers & Operations Research*, 787 – 800.
- Cheng, L. (2005). *A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows*, "Wilmington. Master Theses, University of North Carolina, Mathematics and Statistics, Wilmington.
- De Araujo Lima, S. J., & De Araújo, S. A. (2020). Genetic Algorithm Applied to the Capacitated Vehicle Routing Problem: An Analysis of the Influence of Different Encoding Schemes on the Population Behavior. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences*, 96-110.
- De la Hoz Domínguez, E., Segura, K. P., & Mendoza, A. M. (2013). Solution to Vehicle Routing Problem with Genetic Algorithm. *Ingeniare*, 31-43.
- Feld, S., Roch, C., Gabor, T., Seidel, C., Neukart, F., Galter, I., . . . Linnhoff-

- Popien, C. (2019). A Hybrid Solution Method for the Capacitated Vehicle Routing Problem Using a Quantum Annealer. *Frontiers in ICT*.
- Frutos, M., & Tohmé, F. (2012). A New Approach to the Optimization of the CVRP through Genetic Algorithms. *American Journal of Operations Research*, 495-501.
- Gendreau, M., Potvin, J., Bräumlaysy, O., & Hasle, G. (2008). Metaheuristics for the Vehicle Routing Problem and Its Extensions: A Categorized Bibliography. *The Vehicle Routing Problem: Latest Advances and New Challenges*, 143-169.
- Goldberg, D. E., & Holland, J. H. (1988). Genetic Algorithms and Machine Learning. *Machine Learning*, 3, 95-99.
- Goldberg, D. (1989). Genetic Algorithms in Search, Optimization and Machine Learning. Addison-Wesley.
- Hartanto, S., Furqan, M., Siahaan, A. P., & Fitriani, W. (2017). Haversine Method in Looking for the Nearest Masjid. *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research (IJRTER)*, 187-195.
- Kallel, S. A., & Boujelbene, Y. (2013). The Heterogenous Routing Problem with Stochastic Demand and Client Priority Solving by Clustering Genetic Algorithm. *Journal of Global Research in Computer Science*, 74-79.
- Kim, J. H., Lee, M. H., Jung, D., & Sadollah, A. (2016). Performance Measures of Metaheuristic Algorithms. In *Harmony Search Algorithm, Advances in Intelligent Systems and Computing* 382. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Masum, M. A., Shahjalal, M., Faruque, F. M., & Sarker, H. M. (2011). Solving the Vehicle Routing Problem using Genetic Algorithm. *International Journal of Advanced Computer Science and Application*, 126-131.
- Nazif, H., & Lee, L. S. (2012). Optimised Crossover Genetic Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem. *Applied Mathematical Modelling*, 2110-2117.
- Rahayu, A. C. (2020). *Industri Pelumas Diproyeksikan Turun 20% di Semester II 2020*. Retrieved from kontan.co.id.
- Ren, C. (2012). Applying Genetic Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem. *2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)*. Paris.
- Sajid, M., Singh, J., Haidri, R. A., Prasad, M., Varadarajan, V., Kotecha, K., & Garg, D. (2021). A Novel Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problem for Smart Cities. *Symmetry*, 1-23.
- Silverstrin, P. V., & Ritt, M. (2014). A Tabu Search for Multi-compartment Vehicle Routing Problem. *Anais do XLVI Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, (pp. 3221-3299).
- Vaira, G., & Kurasova, O. (2014). Genetic Algorithm for VRP with Constraints Based on Feasible Insertion. *Informatica*, 155-184.
- Volna, E. (2015). Genetic Algorithms for the Vehicle Routing Problem. *International Conference of Numerical Analysis and Applied Mathematics 2015 (ICNAAM 2015)*.
- Wester, V. D. (1993). *A Genetic Algorithm for the Vehicle Routing Problem*. Master Theses, University of Tennessee.
- Yusuf, I., Baba, M. S., & Iksan, N. (2014). Applied Genetic Algorithm for Solving Rich VRP. *Applied Artificial Intelligence*, 957-991.