

# Pendekatan Terpadu pada Perancangan Rute Distribusi untuk Meminimasi Biaya Transportasi

Muhammad Nurman Helmi<sup>1\*</sup>, Yogi Yogaswara<sup>2</sup>, Bram Andryanto<sup>3</sup>, Ryry Rizky Asri<sup>4</sup>, Widy Setyawan<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4</sup> Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri, Universitas Pasundan  
Jl. Dr. Setiabudhi 193, Bandung 40153

<sup>1\*</sup>helmi@unpas.ac.id

<sup>2</sup>yogiyoga@unpas.ac.id,

<sup>3</sup>braman@unpas.ac.id,

<sup>4</sup>ryryrizky@unpas.ac.id

<sup>5</sup> Fakultas Teknik, Program Studi Teknik Industri, Universitas Suryakencana  
Jl. Pasir Gede Raya, Cianjur 43216

<sup>5</sup> widyft@unsur.ac.id

## An Integrated Approach to Distribution Route Design to Minimize Transportation Costs

Dikirimkan : 07, 2025. Diterima : 09, 2025. Dipublikasikan : 09, 2025.

**Abstract**— An integrated approach to distribution route design considers several aspects of the distribution network simultaneously such as customer distribution grouping, warehouse locations, routes and vehicle capacity. This approach aims to optimize these factors as an integrated system so that vehicle travel routes are shorter and more efficient and save overall costs. For this purpose, the use of complex mathematical models in designing distribution routes is unavoidable. Distribution route design begins with grouping retailers/agents so that transport vehicles in only one trip can complete their tasks using the Fuzzy c-Means Clustering approach. The next step is the selection of warehouse locations that consider the distribution of demand from retailers/agents in each cluster. For warehouse location selection that is centered on the distribution of retail/agent demand, geographic analysis is very important to map areas with high demand concentrations, so that placing warehouses close to the majority of customers can speed up delivery times and minimize transportation costs. This step uses the P-Median approach with the Greedy Dropping Heuristic Algorithm. This design ends by determining the optimization route using Insertion Heuristic or Vehicle Routing Problem in each cluster, starting with the vehicle departing from the warehouse providing service until all retailers/agents in the cluster are served and returning to the warehouse in just one iteration. The next approach, Tabu Search metaheuristic, is carried out to see other possible shortest distance alternatives by optimizing the shortest distance obtained in the previous stage. This design is applied to the 3 kg gas distribution route in East Bandung City which has six intermediary warehouses and 72 retailers/agents. The integrated design of the 3 kg distribution route produces a cost efficiency of 72.28%.

**Keywords** - Greedy Dropping Heuristic; Insertion Heuristic; Fuzzy C-Means; Tabu Search Algorithm; P-Median.

**Abstrak**— Pendekatan terpadu terhadap perancangan rute distribusi mempertimbangkan sejumlah aspek jaringan distribusi secara bersamaan seperti pengelompokan sebaran pelanggan, lokasi Gudang, rute dan kapasitas kendaraan. Pendekatan ini bertujuan mengoptimalkan faktor-faktor tersebut sebagai satu sistem yang terintegrasi sehingga rute tempuh kendaraan lebih pendek dan efisien serta menghemat biaya keseluruhan. Untuk tujuan ini, penggunaan model matematika kompleks dalam merancang rute distribusi tidak dapat dihindari. Desain rute distribusi diawali dengan mengelompokkan ritel/agen agar kendaraan angkut dalam hanya satu ritasi dapat menyelesaikan tugasnya dengan pendekatan *Fuzzy C-Means Clustering*. Langkah

berikutnya adalah pemilihan lokasi gudang yang mempertimbangkan sebaran permintaan daripada ritel/agen di setiap klaster. Untuk pemilihan lokasi gudang yang berpusat pada sebaran permintaan ritel/agen, analisis geografis sangat penting untuk memetakan area dengan konsentrasi permintaan tinggi, sehingga menempatkan gudang dekat dengan mayoritas pelanggan dapat mempercepat waktu pengiriman dan meminimalkan biaya transportasi. Langkah ini menggunakan pendekatan P-Median dengan *Greedy Dropping Heuristic Algorithm*. Perancangan ini diakhiri dengan menetapkan rute optimasi menggunakan *Insertion Heuristik* atau *Vehicle Routing Problem* pada setiap klaster dengan diawali kendaraan berangkat dari gudang memberi pelayanan hingga semua ritel/agen dalam klaster terlayani dan kembali ke gudang hanya dalam satu ritasi. Pendekatan berikutnya *metaheuristik Tabu Search* dilakukan untuk melihat kemungkinan alternatif jarak terpendek lainnya dengan melakukan *optimisasi* jarak terpendek yang telah diperoleh pada tahapan sebelumnya. Perancangan ini diterapkan pada rute distribusi gas 3 kg Kota Bandung Timur yang mempunyai enam gudang perantara dan 72 ritel/agen. Perancangan terpadu rute distribusi 3 kg menghasilkan efisiensi biaya sebesar 72,28%.

**Kata kunci** - *Greedy Dropping Heuristic; Insertion Heuristic; Fuzzy C-Means; Tabu Search Algorithm; P-Median.*

## I. PENDAHULUAN

Manajemen Logistik merupakan bagian dari proses Supply Chain yang berfungsi untuk merencanakan, melaksanakan dan mengendalikan keefisienan dan keefektifan aliran persediaan, transportasi dan pergudangan dari titik asal hingga titik konsumsi dalam tujuannya untuk memenuhi kebutuhan para pelanggan [1]. Logistik mempunyai tugas memastikan ketersediaan barang sampai ke tangan pelanggan dengan kondisi tepat waktu, tepat jumlah, tepat kuantitas, tepat kondisi, tepat alamat dan tepat biaya [2], [3].

Sistem distribusi yang baik akan berkontribusi kepada penurunan biaya distribusi [4] namun dapat meningkatkan layanan serta memberi dampak lingkungan yang rendah [2].

Penting untuk diperhatikan bahwa perancangan logistik distribusi menimbulkan kompleksitas yang tinggi di mana hasilnya harus mampu memberi dampak signifikan terhadap efisiensi biaya operasional perusahaan [5], [6]. Tantangan dalam logistik distribusi adalah bagaimana menghasilkan rute yang efektif dan mampu meminimalkan jarak tempuh yang dapat mengurangi biaya operasional, dan meningkatkan penyediaan layanan [7], [5]. Berbagai metodologi optimasi, termasuk algoritma *heuristik* maupun *metaheuristik* atau pendekatan hibrida telah dikembangkan untuk mengatasi tantangan ini [8] dan [9]. Integrasi teknik-teknik ini dapat menghasilkan peningkatan signifikan dalam efisiensi dan keberlanjutan logistik [10].

Dalam mendesain logistik distribusi dengan pendekatan terpadu, strategi logistik harus mempertimbangkan pengintegrasian dari berbagai tingkatan dalam rantai pasokan untuk memaksimalkan layanan kepada pelanggan [3]. Hal ini memberi pemahaman bahwa pertama manajemen logistik mempertimbangkan setiap fasilitas yang berdampak pada biaya dan memainkan peran dalam menyampaikan produk sesuai dengan persyaratan pelanggan yang dimulai dari pemasok, manufaktur, gudang/pusat distribusi, hingga ke ritel [8], [11]. Kedua, tujuan manajemen

logistik adalah menjadikan sistem efisien di keseluruhan rangkaian pasokan, dari transportasi dan distribusi hingga persediaan. Dengan demikian, manajemen logistik mengutamakan pendekatan terpadu/sistem dalam merancang keputusan logistik.

Untuk mencapai tujuan ini salah satu upayanya adalah diawali dengan melakukan pengelompokan/*klasterisasi* pelanggan [12], [13].

Bahwa pengelompokan pelanggan dalam sistem manajemen logistik mengacu pada praktik pengelompokan pelanggan ke dalam kelompok-kelompok berbeda berdasarkan karakteristik seperti lokasi geografis, tingkat pesanan, jenis produk, atau industri, yang memungkinkan strategi logistik disesuaikan dan proses pengiriman dioptimalkan untuk setiap kelompok yang bertujuan pada peningkatan efisiensi biaya [14], [12]. Di samping itu pengelompokan ritel/agen merupakan cara bagaimana mengoptimalkan pelayanan logistik distribusi.

*Fuzzy clustering* atau pengelompokan *Fuzzy* adalah teknik pengelompokan terhadap sebaran data semisal ritel dalam suatu ruang vektor yang mempunyai tingkatan keanggotaan berbeda-beda. *Fuzzy clustering* sangat berguna bagi pemodelan *fuzzy* terutama dalam mengidentifikasi aturan-aturan *fuzzy* [13]. Salah satu algoritma *clustering* adalah *Fuzzy C-Means*, merupakan teknik pengelompokan data di mana keanggotaan klaster ditentukan oleh derajat keanggotaannya [12] dan [15].

Penentuan lokasi gudang pada kelompok pelanggan menjadi tahapan berikutnya pada perancangan logistik distribusi [16]. Salah satu masalah utamanya adalah di mana gudang akan ditempatkan/dilokasikan. Karakteristik lokasi gudang merupakan faktor yang memengaruhi pembangunannya dan merupakan strategi perusahaan. Oleh karenanya, karakteristik lokasi gudang dapat menjadi sangat penting bagi keberhasilan atau kegagalan bisnis. Proses penentuan lokasi gudang mempertimbangkan

empat faktor dasar : produksi, permintaan, biaya, dan persaingan [17], [18].

Integrasi metode P-Median dengan *Greedy Dropping Heuristic* dapat meningkatkan efisiensi relokasi gudang perantara secara signifikan. Kombinasi ini memungkinkan penempatan fasilitas yang optimal sekaligus meminimalkan biaya operasional dan jarak tempuh [19], [20]. Metode ini mempertimbangkan jarak antara lokasi ritel atau pengecer dengan gudang perantara, biaya transportasi dan permintaan pada masing-masing klaster. Untuk dapat menentukan suatu lokasi dengan menggunakan metode P-Median digunakan algoritma yang dapat memproses model matematis pada metode tersebut, di antaranya adalah algoritma *Greedy Dropping Heuristic* [19]. Algoritma tersebut bekerja dengan menghilangkan (*dropping*) satu per satu kandidat lokasi  $m$  hingga  $p$  dan kemudian memilih lokasi yang memiliki biaya/ongkos yang minimum. Di mana  $m$  merupakan kandidat fasilitas dan  $p$  lokasi fasilitas yang terpilih [20].

Penentuan rute kendaraan angkut dari gudang perantara ke setiap ritel/pengecer dalam klaster kemudian menjadi langkah berikutnya dalam mendesain pendistribusian gas 3 kg. Pendekatan *The Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* digunakan untuk mendapatkan jarak total terpendek dalam satu ritasi pada setiap klaster dengan mempertimbangkan kapasitas transportasi [21], [22].

VRP dirumuskan sebagai *Set-Partitioning Problem (SPP)* yang menyerukan penentuan kumpulan sirkuit dengan biaya minimum, yang melayani setiap ritel/agen hanya sekali. Pada proses pencarian rute terpendek digunakan pendekatan *Insertion Heuristics* yang merupakan algoritma representatif berdasarkan penyisipan [23], [24]. Pendekatan *optimisasi* rute yaitu *metaheuristik* kemudian diimplementasikan pada solusi rute awal untuk memperoleh alternatif rute yang lebih baik dengan pendekatan *Tabu Search* [25], [26].

Di satu sisi prinsip ini sejalan dengan literatur ilmiah tepatnya dengan bidang metode *Local Search*. Alasannya bahwa metode *metaheuristik* dengan karakteristik *global search*nya umumnya mampu memberi solusi alternatif [7], [27].

Dengan demikian dalam upaya mendapatkan desain sistem distribusi yang mampu menurunkan total biaya distribusi maka pendekatan *metaheuristik* dengan karakteristik *global search* menjadi pilihan dalam memberi alternatif solusi [28], [5]. Bahwa prinsip pencarian dengan modifikasi solusi tidak berhenti pada *local search* saja, sebaliknya juga mempertimbangkan pendekatan lain.

Puncak dari perancangan distribusi dalam penelitian ini adalah perhitungan biaya total transportasi. Penetapan total biaya distribusi pada setiap klaster merupakan fungsi jarak *optimisasi*

yang diperoleh pada luaran pencarian rute terpendek. Dengan kata lain penelitian ini tidak mencari formulasi baru dalam menentukan biaya distribusi.

Biaya total distribusi diperoleh dari luaran jarak *optimisasi* baru yang kemudian dikalikan dengan indeks biaya angkut. Sementara indeks biaya diperoleh dari hasil perhitungan antara total biaya distribusi *eksisting* dibagi dengan total jarak distribusi *eksisting*. Dengan cara ini perbandingan antara sebelum dan sesudah perbaikan sistem dapat dilakukan.

Dalam praktik nyata di lapangan, implementasi logistik dalam dunia industri dan bisnis belum sepenuhnya dilakukan dengan baik. Demikian halnya pada pendistribusian gas 3 kg oleh perusahaan di mana penelitian ini dilakukan.

Dalam kondisi *eksisting*, keenam gudang perantara mendapat penugasan melayani 72 ritel/agen yang tersebar di wilayah pemasaran Kota Bandung Timur. Di satu sisi, enam gudang perantara yang berlokasi di area yang berada di luar wilayah pemasarannya masing-masing sehingga kendaraan angkut menempuh jarak yang relatif jauh dalam melayani ritel/agennya. Di sisi lainnya pola pemenuhan gas 3 kg tidak dilakukan secara serentak dalam satu ritasi pelayanan namun pengiriman dilakukan bila mana ada permintaan dari setiap ritel/agen. Hal ini mengakibatkan total jarak tempuh semakin jauh yang berdampak kepada tingginya biaya transportasi. Selain itu sistem distribusi *eksisting* masih menganut sistem terbuka di mana setiap gudang perantara dapat melayani ritel/agen di luar wilayah pemasarannya yang menyebabkan pola pelayanan gudang perantara menjadi tidak efektif. Permasalahan ini memerlukan suatu penyelesaian yang komprehensif dan terpadu sebagaimana pula disampaikan oleh [29].

Tujuan penelitian ini adalah merancang sistem distribusi gas 3 kg dengan pendekatan terpadu yang akan menghasilkan total biaya distribusi minimum pada tingkat layanan yang optimal dari gudang perantara sebagai gudang distribusi ke setiap ritel/agen yang tersebar di seluruh wilayah pamaran.

## II. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian mengusulkan pendekatan terpadu dalam pendistribusian gas 3 kg, sebagai berikut :

- a. Tahap 1 : Pengelompokan ritel/agen (*clustering*) atau pembentukan kelompok layanan. Data yang diperlukan untuk menentukan sebuah *cluster* adalah kapasitas kendaraan angkut dan *demand* dari setiap ritel/agen. Pendekatan yang digunakan adalah *Fuzzy C-Means*.
- b. Tahap 2 : Relokasi Gudang Perantara ke dalam kelompok layanan. Pemilihan lokasi gudang perantara pada setiap kelompok layanan yang terbentuk dari tahapan pertama di atas. Data

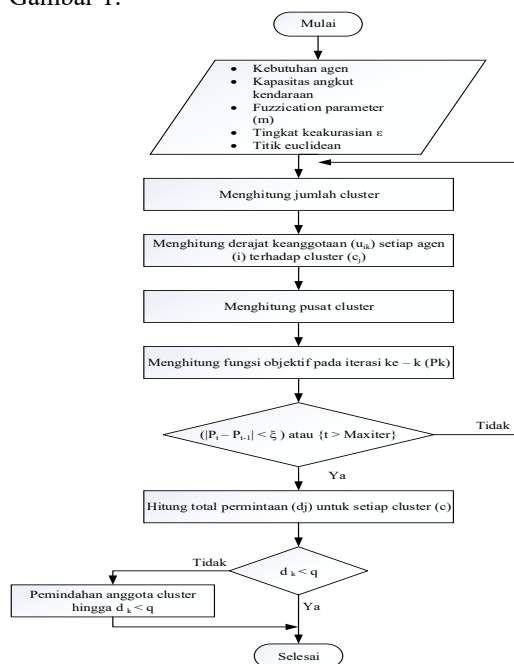
yang diperlukan adalah hasil kluster pada perhitungan sebelumnya. Pendekatan yang digunakan adalah *P-Median* dengan Algoritma *Greedy Dropping Heuristic*.

- c. Tahap 3 : Penetapan/pencarian rute terpendek awal dari gudang perantara ke setiap ritel/agen dengan prinsip satu ritasi seluruh ritel/agen terlayani. Tahapan ini dilakukan dengan metode *insertion heuristic*. Data yang dibutuhkan yaitu matriks jarak dan kelompok ritel/agen yang telah didapatkan pada tahap satu di atas.
- d. Tahap 4 : Pencarian rute alternatif, dilakukan dengan menggunakan metode *metaheuristik* yaitu *Tabu Search*. Data yang dibutuhkan adalah data *initial route* yang diperoleh dari hasil perhitungan *insertion heuristic*.
- e. Tahap 5 : Perhitungan biaya transportasi/distribusi setiap kluster/wilayah layanan.

Secara detail, setiap tahapan metode/pendekatan yang dilakukan dapat dijelaskan sebagai berikut :

#### A. Penetapan Kelompok Layanan (Kluster)

Bahwa keanggotaan dalam kluster *Fuzzy C-Means* (FCM) ditentukan oleh derajat keanggotaannya, di mana dalam prosesnya dilakukan langkah-langkah seperti dijelaskan dalam Gambar 1.



Gambar 1. Langkah metode *fuzzy c-means*

Langkah-langkah perhitungan pendekatan FCM adalah sebagai berikut :

- a. Mendefinisikan kebutuhan agen, kapasitas angkut kendaraan, koordinat dari setiap agen (titik *Euclidean*), *fuzzification* parameter (*m*), tingkat keakurasian (*ε*).

- b. Menghitung jumlah *cluster* sama dengan jumlah kendaraan yang digunakan, dimana jumlah *cluster* merupakan total kebutuhan agen dibagi dengan kapasitas angkut kendaraan.

$$c = \frac{\sum d_k}{q} \quad (1)$$

di mana :

$d_k$  = kebutuhan/ *demand* agen

$q$  = kapasitas kendaraan

- c. Menghitung derajat keanggotaan setiap agen (*i*) terhadap *cluster* (*cj*) dengan mencari jarak dari setiap agen terhadap pusat *cluster* (*centroid*) secara *Euclidean*. Setiap agen tersebut akan bergabung dengan *cluster* yang mana sesuai dengan derajat kedekatan setiap agen tersebut terhadap pusat *cluster* (*centroid*) yang telah ditetapkan. Berikut adalah formula yang digunakan untuk menghitung nilai derajat keanggotaan :

$$u_{ik} = \frac{[\sum_{j=1}^m (x_{ij} - v_{jk})^2]^{-\frac{1}{w-1}}}{\sum_{k=1}^c [\sum_{j=1}^m (x_{ij} - v_{jk})^2]^{-\frac{1}{w-1}}} \quad (2)$$

- d. Menentukan pusat *cluster* (*centroid*) baru dari derajat keanggotaan setiap agen terhadap *cluster* yang ada. Secara matematis dapat dihitung dengan formula sebagai berikut :

$$V_{jk} = \frac{\sum_{i=1}^n ((u_{ik})^m x_{ij})}{\sum_{i=1}^n (u_{ik})^w} \quad (3)$$

- e. Menentukan nilai fungsi objektif

Nilai dari fungsi objektif mencerminkan perubahan pada derajat keanggotaan. Fungsi objektif setiap iterasi akan memperhatikan banyaknya iterasi yang terjadi, hingga selisih fungsi objektif iterasi ke-*t* dikurangi dengan iterasi sebelumnya ( $P_t - P_{t-1}$ ) lebih kecil dari tingkat keakurasian atau hingga steady state dimana fungsi objektif tidak akan berubah lagi. Formulasi yang digunakan untuk menentukan fungsi objektif adalah sebagai berikut :

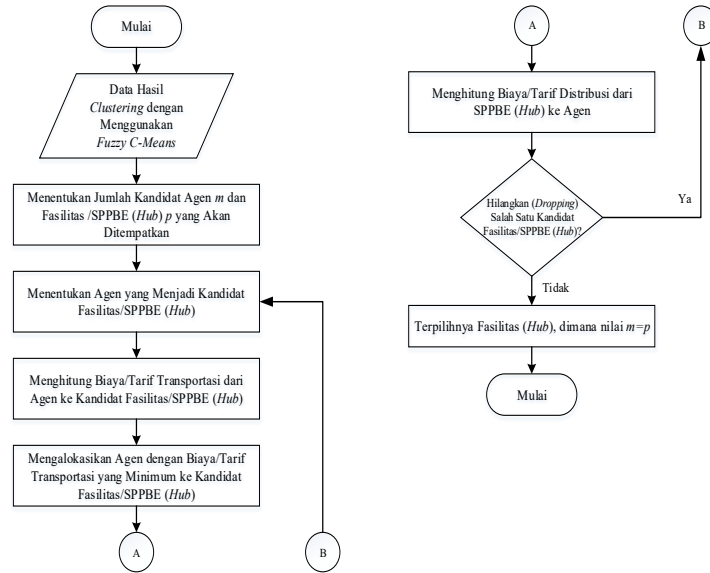
$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^c \left( \left[ \sum_{j=1}^c (x_{ij} - v_{jk})^2 \right] (u_{ik})^w \right) \quad (4)$$

- f. Menghitung total permintaan untuk setiap *cluster*. Apabila permintaan ( $d_k$ ) lebih kecil dari kapasitas kendaraan ( $q$ ) maka selesai. Dan apabila permintaan ( $d_k$ ) lebih besar dari kapasitas kendaraan ( $q$ ) maka dilakukan pemindahan anggota *cluster* hingga permintaan kurang atau sama dengan kapasitas kendaraan.
- g. Pemindahan anggota *cluster* didasarkan pada nilai derajat keanggotaan dari masing-masing setiap *cluster* yang telah terbentuk.

#### B. Relokasi Gudang Perantara

Relokasi gudang perantara dengan pendekatan *P-Median* digunakan untuk menentukan lokasi gudang perantara pada setiap *cluster*. Algoritma dalam pencarian lokasi ini menggunakan *Greedy Dropping Heuristic*. Tujuan penggunaan model ini

adalah untuk menentukan lokasi gudang perantara dan meminimumkan jumlah gudang yang akan dilokasikan. Berikut merupakan *flowchart* yang menjelaskan langkah-langkah perhitungannya pada Gambar 2.



Gambar 2. Flowchart metode *p-median* algoritma *greedy dropping heuristic*

Langkah ini dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui lokasi gudang perantara pada masing-masing kelompok ritel/agen yang telah terbentuk dari proses *clustering* sebelumnya. Metode *P-Median* dalam penerapannya menggunakan algoritma *Greedy Dropping Heuristic* seperti ditunjukkan tahapan dan gambar 2 berikut :

- Data Hasil *Clustering* dengan Menggunakan FCM  
Data tersebut digunakan sebagai acuan menentukan *node* (gudang) mana saja yang termasuk ke dalam *cluster* ke-1 hingga *cluster* ke-2 serta pertimbangan dalam menentukan jumlah kandidat fasilitas (gudang)  $\{m = 1, 2, 3, \dots, n\}$  dan fasilitas (gudang) yang ditempatkan sebagai gudang perantara  $\{p = 1, 2, 3, \dots, n\}$
- Menentukan Jumlah Kandidat Gudang Perantara yang Akan Ditempatkan  
Jumlah kandidat gudang perantara  $\{m = 1, 2, 3, \dots, n\}$  yang dipilih disesuaikan dengan luas wilayah dari *cluster* yang terbentuk dan fasilitas/gudang perantara  $\{p = 1, 2, 3, \dots, n\}$  di mana  $m > p$ .
- Menentukan gudang yang menjadi kandidat gudang perantara  
Dalam menentukan agen yang menjadi kandidat gudang perantara ada beberapa kriteria yang menjadi acuan pemilihan kandidat gudang tersebut yaitu jumlah *demand* agen(konsumen) dan jarak minimum antar agen (konsumen).
- Menghitung Biaya/Tarif Transportasi dari kandidat gudang perantara ke ritel/agen/pengecer

Biaya/tarif transportasi dari kandidat gudang perantara ke ritel/agen merupakan biaya/tarif hasil perkalian antara jarak tempuh kendaraan dengan tarif kendaraan (per ton km). Adapun formulasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$C_{ij} = s_{ij} \times c \quad (5)$$

di mana :

$C_{ij}$  = Biaya/Tarif Transportasi dari  $i$  ke  $j$   
 $s_{ij}$  = Jarak dari  $i$  ke  $j$   
 $c$  = Tarif/ ton km

- Memindahkan ritel/agen yang mempunyai biaya/tarif transportasi minimum ke calon gudang perantara  
Berdasarkan perhitungan biaya/tarif transportasi dari kandidat gudang perantara ke ritel/agen alokasikan masing-masing gudang (konsumen) ke kandidat fasilitas/gudang perantara dengan biaya/tarif yang paling minimum.
- Menghitung biaya/tarif distribusi dari gudang perantara ke ritel/agen/pengecer.  
Dari hasil pengalokasian gudang antara (*hub*) ke agen (konsumen) maka dapat dihitung biaya/tarif distribusi tersebut. Biaya/tarif distribusi merupakan biaya/tarif hasil dari perhitungan (perkalian) antara biaya/tarif distribusi dengan *demand* pada setiap agen (konsumen). Adapun formulasi yang digunakan adalah sebagai berikut :

$$\min Z = \sum \sum C_{ij} \times y_{ij} \quad j \in M_i \quad i \in N \quad (6)$$

di mana :

$C_{ij}$  = Biaya/Tarif Transportasi dari  $i$  ke  $j$

$y_{ij} = 1$  (Kandidat fasilitas ditempatkan pada lokasi tersebut)

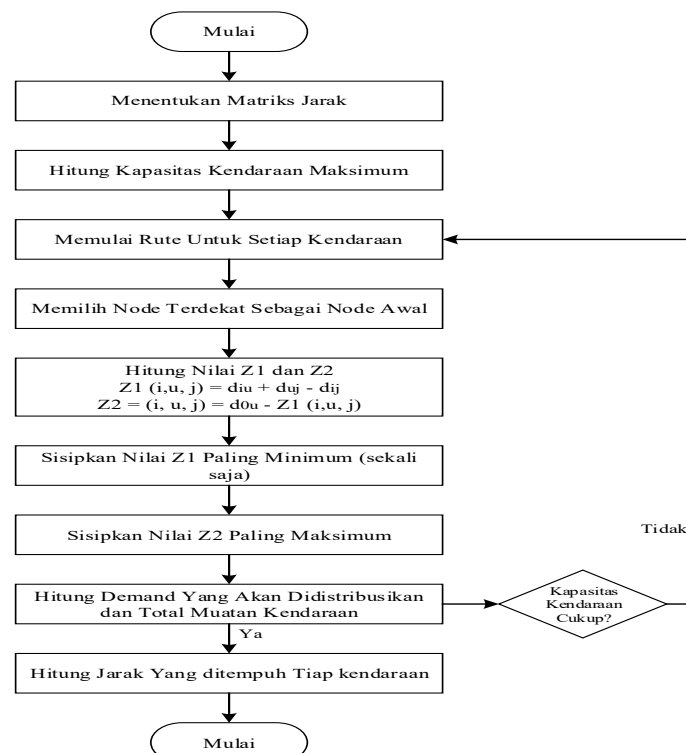
- g. Hilangkan Salah Satu Kandidat Fasilitas/ Gudang Antara (*Hub*)

Setelah mengetahui total biaya/tarif distribusi dari masing-masing gudang antara ke ritel/agen (konsumen), maka langkah selanjutnya adalah menghilangkan (*dropping*) salah satu kandidat fasilitas/ gudang yang akan dijadikan sebagai

gudang antara. Lakukan langkah tersebut hingga  $m = p$ .

### C. Pencarian Rute Awal

Metode awal yang digunakan adalah *insertion heuristic*. Metode ini digunakan dalam menetapkan solusi rute awal dengan nilai *saving* jarak terbesar. Kemudian menyisipkan ritel/agen jika menghadapi kendala, dan selanjutnya mengurutkan rute. Langkah-langkah mengenai perhitungan penentuan rute dijelaskan seperti pada langkah-langkah dan dengan Gambar 3 berikut :



Gambar 3. Tahapan metode *insertion heuristic*

Tahapan perhitungan Metode *Insertion Heuristic* :

- Menetapkan matriks jarak  
Penggunaan *google maps* bertujuan untuk mendapatkan matriks jarak dengan mempertimbangkan rute tercepat.
- Menetapkan kapasitas kendaraan  
Kapasitas angkut kendaraan yang dipergunakan merupakan mobil truk *engkel* yang berkapasitas 6 ton sebagaimana yang digunakan oleh perusahaan.
- Menetapkan titik awal keberangkatan  
Pemilihan titik awal atau ritel/agen awal ditentukan secara acak yang nantinya akan dijadikan sebagai titik awal keberangkatan kendaraan dari rute yang terbentuk. Tentukan seluruh ritel/agen (selain gudang antara) yang belum termasuk ke dalam rute sebagai ritel/agen

bebas. Pemilihan ritel/agen awal ini didasarkan pada jarak terdekat dengan gudang antara.

- Inisialisasi ritel/agen* bebas  
Ritel/agen bebas yang tidak terpilih selanjutnya diinisialisasi. Lalu rute dan *node* yang dipilih sebelumnya sebagai awal dan akhiri rute pada gudang antara.
- Menghitung nilai  $Z_1$  dan  $Z_2$   
Tetapkan rute pada saat ini dengan  $R = (0, ij, \dots, 0)$ , di mana 0 adalah gudang antara. Tetapkan nilai  $Z_1$  dan  $Z_2$ .  $Z_1$  adalah ritel/agen yang mempunyai jarak terpendek terhadap gudang antara.  $Z_2$  adalah ritel/agen yang terdekat dengan gudang antara sebelumnya. Hitung  $Z_1$  dengan rumus :

$$Z_1(i, u, j) = d_{iu} + d_{uj} + d_{ij} \quad (7)$$



Dan  $Z_2(i, u, j) = d_{ou} - Z_1(i, u, j)$  di mana  $d_{ou}$  adalah jarak untuk mencapai gudang antara  $u$  langsung dari gudang antara.

- f. Menyisipkan nilai  $Z_1$   
Sisipkan *ritel/agen* bebas  $u$  yang memiliki nilai  $Z_1(i, u, j)$  minimum pada rute di antara *ritel/agen*  $i$  dan  $j$  yang telah ada. Maka rute baru ini disebut dengan  $R$ .
- g. Menetapkan kapasitas kendaraan :

$$L(i) = L(0) + C(i) \quad (8)$$

Bila muatan  $L(i)$  kurang atau sama dengan kapasitas kendaraan, maka hitung  $Z_2$ , jika tidak maka hentikan.

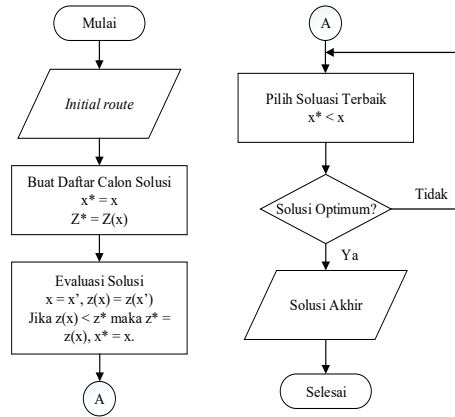
- h. Menyisipkan nilai  $Z_2$   
Namun bila kapasitas kendaraan masih mencukupi, lakukan penyisipan untuk *ritel/agen* bebas  $u$  dengan nilai  $Z_2(i, u, j)$  maksimum ke dalam rute di antara *ritel/agen*  $i$  dan  $j$  yang telah ada. Kemudian perhitungkan kembali kapasitas kendaraan, dan bila muatan sudah melebihi daripada kapasitas kendaraan maka langkah selanjutnya dihentikan.

#### D. Pencarian Rute Optimisasi

Tahap terakhir dalam pengolahan data adalah *optimisasi* rute yang dilakukan menggunakan algoritma *tabu search*. Pada tahap ini dilakukan perbaikan terhadap rute yang telah terbentuk sebagai *initial solution* menggunakan *insertion heuristic*. *Tabu search* (TS) adalah metode *metaheuristik* yang sudah cukup lama ditemukan dan dipergunakan secara luas. TS menemukan solusi suatu persoalan optimasi (diskrit) dengan cara mencari solusi di sekitar solusi sebelumnya (*neighborhood*). Hal ini diulang sampai beberapa iterasi untuk menemukan solusi alternatif yang lebih baik dari solusi sebelumnya. Pendekatan *metaheuristik* di antaranya TS termasuk teknik pencarian *global search*. *Flowchart* pada gambar 4 berikut akan menjelaskan tahapan secara garis besar dalam perhitungan *optimisasi* dengan menggunakan TS :

Langkah pendekatan *Tabu Search* :

- a. *Inisialisasi*, tetapkan :
  - *Input* : jumlah *ritel/agen*  $n$ , matriks jarak dan maksimum iterasi
  - Set *tabu tenure*  $t$  : jumlah iterasi untuk berpindah tetap *tabu*,  $t = \text{sqrt}(n)$ .
  - *Inisialisasi tabu list* = []
- b. Bangkitkan solusi dalam upaya menemukan solusi lebih baik  $x^*$  dengan jarak total  $z^*$   
Misal  $x$ , rute saat ini  
Tetapkan  $x^* = x$ , rute lebih baik  
Hitung  $z^* = z(x)$  (jarak total)



Gambar 4. *Flowchart* metode *tabu search*

- c. Iterasi berikutnya  
Bila kriteria pemberhentian belum dipenuhi, maka lakukan :
  - Identifikasi *neighborhood set* dengan menciptakan sejumlah solusi baru dengan cara *swap* (tukar), *slide* (geser), atau *flip* (balik urutan) dari solusi  $x$ , untuk setiap  $x \in N(X)$  mempunyai *neighborhood*  $N(x) \subset X$ .
- d. Tetapkan pencarian yang lebih baik dari  $N(x)$  dengan memilih solusi minimum dari  $z(x)$ , menjadi  $x' \in N(X)$  dan nilai fungsi tujuan menjadi  $z(x')$  serta masukkan ke dalam daftar *tabu (tabu list)*. Periksa apakah  $x'$  *Tabu* terpenuhi ? :
  - Jika Tidak, ke langkah 5
  - Jika Ya, step 6
- e. Lakukan pertukaran :  
 $x = x', z(x) = z(x')$   
jika  $z(x) < z^*$  maka  $z^* = z(x)$ ,  $x^* = x$ .
- f. Periksa bila  $x'$  memenuhi kriteria yang diinginkan :
  - Jika ya, ke langkah 5
  - Jika tidak, periksa *neighbor set*.
- g. Tetapkan *tabu* perolehan dalam *tabu list*, lakukan perbaikan atau *update tabu list* dengan mengubah isi *tabu list* dengan cara :
  - Bila solusi tidak *tabu*, tambahkan solusi pada *tabu list* dengan mengubah posisi *ritel/agen* dari 0 ke  $t$ .

#### E. Perhitungan Biaya Distribusi

Perhitungan biaya distribusi pada setiap klaster dilakukan setelah rute *optimisasi* telah diperoleh. Biaya per satuan kilometer diperoleh dari indeks biaya yang dihitung dari biaya total distribusi dibagi dengan total jarak tempuh pendistribusian gas 3 kg pada kondisi *eksisting*. Indeks biaya Rp/km kemudian digunakan sebagai pengali pada jarak *optimisasi* yang dihasilkan untuk mendapatkan biaya total distribusi yang baru.

$$iba = \frac{\sum ba_e}{\sum jt_e} \quad (9)$$

di mana :

$iba$  : indeks biaya angkut *eksisting*  
 $ba_e$  : biaya angkut *eksisting*  
 $jt_e$  : jarak tempuh *eksisting*

$$tbd = iba * \sum jt_u \quad (10)$$

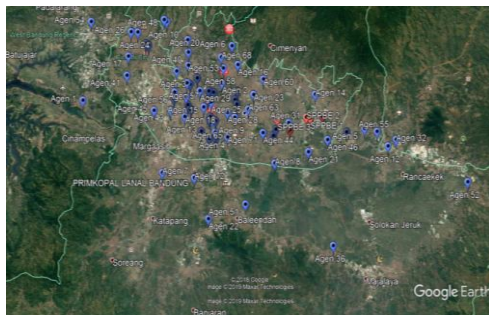
di mana :

$tbd$  : total biaya distribusi  
 $iba$  : indeks biaya angkut *eksisting*  
 $jt_u$  : jarak tempuh klaster usulan

### III. HASIL PENELITIAN

Berdasarkan metodologi penelitian yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan distribusi gas 3 kg di wilayah Kota Bandung Timur, penelitian ini telah menghasilkan luaran dari setiap tahapan kerangka berpikir di mana perangkat lunak MATLAB digunakan sebagai alat bantu dalam pengolahan data. Luaran pertama adalah diperolehnya pengelompokan/*klasterisasi* ritel/agen pada Kota Bandung Timur sebagai tempat relokasi gudang perantara.

Gambar 5 menunjukkan sebaran posisi *eksisting* enam gudang perantara dan 72 ritel/agen.



Keterangan : Titik-titik merah adalah lokasi gudang perantara *eksisting* sementara titik-titik biru adalah lokasi ritel/agen.

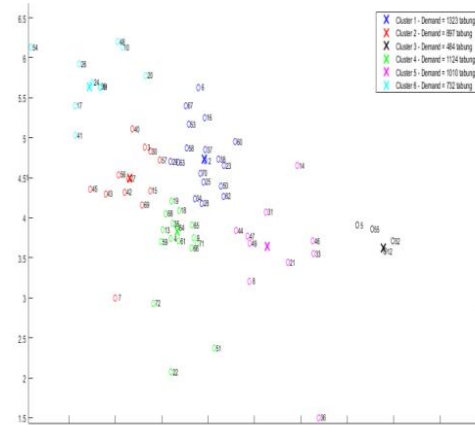
Gambar 5. Sebaran gudang perantara dan ritel/agen *eksisting*

*Klasterisasi* sebaran ritel/agen menggunakan pendekatan *fuzzy c-means*, di mana hasilnya seperti terlihat pada Gambar berikut. Gambar 6 berikut menggambarkan pusat klaster dari enam klaster di mana setiap klaster yang terbentuk diperoleh dari perhitungan total permintaan gas 3 kg dalam wilayah Bandung Timur dibagi dengan kapasitas kendaraan angkut yang digunakan. Fungsi keanggotaan ritel/agen yang ditunjukkan dengan tingkat permintaan gas 3 kg memegang peranan di dalam menentukan derajat keanggotaan klaster. Setiap klaster mempunyai titik pusat klaster sebagai lokasi gudang antara rata-rata klaster.

Pada proses pencarian pusat klaster di antara sebaran ritel/agen, pencarian nilai fungsi objektif akan berhenti setelah mencapai kondisi *steady state*, maka pusat *cluster* telah berada diposisi yang tepat. Dengan demikian anggota kelompok ritel/agen dari setiap *cluster* beserta total permintaan gas 3 kg dapat ditetapkan seperti terlihat pada Tabel I. Tabel

I menjelaskan ritel/agen yang berafiliasi dengan klasternya akan dapat diketahui jumlah permintaan gas 3 kg pada setiap klasternya. Kondisi ini memungkinkan jumlah permintaan klaster dapat melebihi kapasitas kendaraan angkut.

Hasil dari langkah di atas ditunjukkan pada Tabel I yang telah melalui proses penyesuaian dengan cara memindahkan afiliasi ritel/agen dari satu klaster ke klaster lainnya di mana ritel/agen yang dipindahkan mempunyai jarak terdekat pada klaster tujuan perpindahan.



Gambar 6. Enam pusat klaster bertanda X

TABEL I  
KLAster RITel/AGEN DAN PERMINTAAN

| Klaster      | Ritel/Agen                                                     | Permintaan (Tabung) |
|--------------|----------------------------------------------------------------|---------------------|
| 1            | {2, 6, 16, 23, 25, 28, 34, 37, 38, 50, 53, 58, 62, 63, 70}     | 1100                |
| 2            | {3, 7, 15, 22, 27, 30, 40, 42, 43, 45, 56, 57, 67, 69}         | 1045                |
| 3            | {5, 12, 32, 52, 55}                                            | 484                 |
| 4            | {4, 9, 13, 18, 19, 29, 35, 51, 59, 61, 64, 65, 66, 68, 71, 72} | 1109                |
| 5            | {8, 14, 21, 31, 33, 36, 44, 46, 47, 49, 60}                    | 1100                |
| 6            | {1, 10, 11, 17, 20, 24, 26, 39, 41, 48, 54}                    | 732                 |
| Total Demand |                                                                | 5570                |

Pada FCM pemindahan anggota *cluster* dilakukan dengan dasar besarnya derajat keanggotaan dari masing-masing agen dan perhitungannya dilakukan dengan bantuan *software MATLAB*.

Setelah luaran klaster baru dan anggotanya ditetapkan, luaran berikut adalah relokasi gudang perantara pada klaster baru. Pendekatan *P-median* dengan algoritma *greedy dropping heuristic* memberi hasil seperti terlihat pada Tabel II berikut.

Tabel II menjelaskan bahwa relokasi gudang perantara berlokasi di dekat ritel/agen karena pada proses pencarian lokasi ritel/agen yang menjadi pertimbangan utama yaitu dengan memperhatikan derajat keanggotaan yang ditunjukkan dengan tingkat permintaan gas 3 kg setiap ritel/agen.

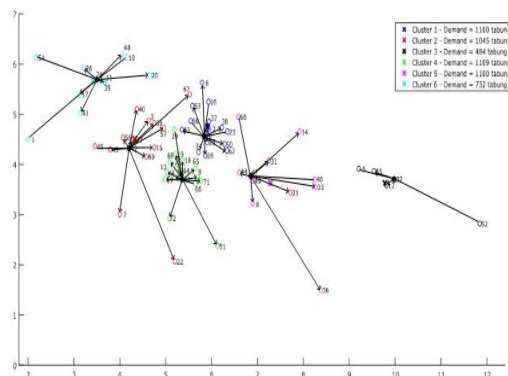


TABEL II  
RELOKASI GUDANG PERANTARA PADA RITEL/AGEN

| Klaster | Lokasi Pada Ritel/Agen |
|---------|------------------------|
| 1       | 70                     |
| 2       | 42                     |
| 3       | 32                     |
| 4       | 61                     |
| 5       | 47                     |
| 6       | 24                     |

Atas dasar Tabel II, secara visualisasi gudang perantara berlokasi pada titik rerata permintaan dari ritel/agen sebagaimana dimaksud dari pendekatan *P-median*.

Hal ini ditunjukkan pada Gambar 7 yang menjelaskan lokasi gudang perantara yang baru dan anggotanya.



Gambar 7. Relokasi gudang perantara dan ritel/agen

Dari perhitungan dengan bantuan perangkat *Matlab* diperoleh ritasi kendaraan angkut seperti pada Tabel III. Diketahui bahwa untuk keenam klaster dengan 6 kendaraan angkut dan 11 ritasi diperoleh total jarak tempuh 389,75 km.

Hasil selanjutnya dari rancangan distribusi pada kasus gas 3 kg adalah diperolehnya rute terpendek dari kendaraan angkut dari gudang perantara ke setiap ritel/agen untuk setiap klaster. Luaran yang diperoleh dari tahapan ini adalah rute inisial dengan pendekatan *Insertion Heuristic*.

TABEL III  
SOLUSI AWAL RUTE TERPENDEK PENDEKATAN  
*INSERTION HEURISTIC*

| Klaster | Kendaraan Angkut/Ritasi | Rute dari Gudang Perantara ke Ritel/Agen | Jarak Tempuh (Km) |
|---------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------|
| 1       | 1                       | {0, 25, 28, 50, 34, 38, 23, 63, 0}       | 17,8              |
|         | 2                       | {0, 2, 58, 16, 6, 37, 53, 62, 0}         | 42,9              |
| 2       | 1                       | {0, 69, 15, 57, 30, 56, 45, 7, 0}        | 26,35             |
|         | 2                       | {0, 67, 43, 27, 3, 40, 22, 0}            | 62,2              |
| 3       | 1                       | {0, 12, 55, 5, 52, 0}                    | 41,9              |
| 4       | 1                       | {0, 65, 19, 4, 66, 59, 13, 18, 35, 0}    | 14,1              |
|         | 2                       | {0, 64, 29, 9, 71, 68, 7, 51, 0}         | 41                |

| Klaster                 | Kendaraan Angkut/Ritasi | Rute dari Gudang Perantara ke Ritel/Agen | Jarak Tempuh (Km) |
|-------------------------|-------------------------|------------------------------------------|-------------------|
| 5                       | 1                       | {0, 49, 31, 44, 8, 21, 0}                | 23,5              |
|                         | 2                       | {0, 14, 60, 33, 46, 36, 0}               | 64,9              |
| 6                       | 1                       | {0, 26, 39, 17, 41, 1, 54, 11, 48, 0}    | 39,6              |
|                         | 2                       | {0, 10, 20, 0}                           | 15,1              |
| Total Jarak Tempuh (Km) |                         |                                          | 389,75            |

Masing-masing jarak tempuh tersebut kemudian akan dijadikan data masukan pada pencarian rute *optimisasi* menggunakan metode *Tabu Search*. *Optimisasi* ini dilakukan untuk melihat kemungkinan solusi alternatif jarak total terpendek yang lebih baik.

TABEL IV  
SOLUSI ALTERNATIF RUTE TERPENDEK PENDEKATAN  
*TABU SEARCH*

| Klaster                 | Kendaraan Angkut | Rute dari Gudang Perantara ke Ritel/Agen | Jarak Tempuh (Km) |
|-------------------------|------------------|------------------------------------------|-------------------|
| 1                       | 1                | {0, 25, 28, 50, 34, 38, 23, 63, 0}       | 17,8              |
|                         | 2                | {0, 37, 53, 58, 16, 6, 2, 62, 0}         | 34,4              |
| 2                       | 1                | {0, 69, 7, 45, 56, 30, 57, 15, 0}        | 25,45             |
|                         | 2                | {0, 40, 3, 27, 43, 22, 67, 0}            | 50,1              |
| 3                       | 1                | {0, 5, 12, 55, 52, 0}                    | 41,3              |
| 4                       | 1                | {0, 19, 65, 66, 4, 59, 13, 18, 35, 0}    | 13,3              |
|                         | 2                | {0, 9, 71, 51, 72, 68, 29, 64, 0}        | 36,9              |
| 5                       | 1                | {0, 49, 44, 8, 21, 31, 0}                | 20,45             |
|                         | 2                | {0, 60, 14, 33, 46, 36, 0}               | 59,8              |
| 6                       | 1                | {0, 26, 54, 1, 41, 17, 39, 11, 48, 0}    | 35,8              |
|                         | 2                | {0, 10, 20, 0}                           | 15,1              |
| Total Jarak Tempuh (Km) |                  |                                          | 350,40            |

Algoritma *Tabu Search* adalah langkah-langkah yang setiap tahapannya mengarahkan menghasilkan fungsi tujuan yang paling optimum tanpa terjebak ke dalam solusi awal/lokal yang ditemukan selama proses *optimisasi* berlangsung. Algoritma *Tabu Search* menghindari perulangan langkah dalam menemukan solusi yang sama pada iterasi berikutnya. Tabel IV di atas adalah hasil dari pencarian solusi alternatif total jarak terpendek.

Pembentukan klaster dan perancangan ulang lokasi gudang perantara dan penentuan rute kendaraan angkut gas 3 kg mengakibatkan penurunan biaya distribusi dari kondisi sebelumnya yang cukup signifikan. Diketahui dari hasil perancangan bahwa terdapat 11 ritasi secara total untuk memenuhi permintaan 72 ritel/agen gas 3 kg yang terbagi dalam enam klaster. Dari 11 ritasi tersebut menghasilkan total jarak 389,75 km.

Dari rekayasa rute dengan pendekatan *Insertion Heuristic* dan *Tabu Search* menghasilkan total jarak tempuh lebih baik dari inisial solusi sebelumnya yaitu 350,4 km atau terdapat penurunan jarak total sebesar 39,35 km atau 10,1% dari pendekatan *optimisasi*, dan 81% secara rerata jika

dibandingkan dengan kondisi *eksisting* seperti terlihat pada Tabel V.

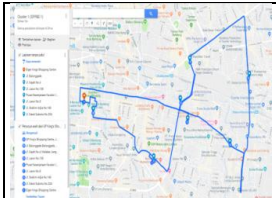
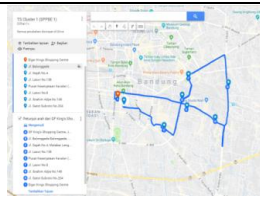
TABEL V  
PERBANDINGAN JARAK *EKSISTING* VS USULAN

| Pendekatan Penyelesaian         | Total Jarak Tempuh (Km) | Efisiensi (%) |
|---------------------------------|-------------------------|---------------|
| Rute <i>Eksisting</i>           | 1954,53                 | -             |
| Rute <i>Insertion Heuristic</i> | 389,75                  | 80,00         |
| Rute <i>Tabu Search</i>         | 350,40                  | 82,07         |

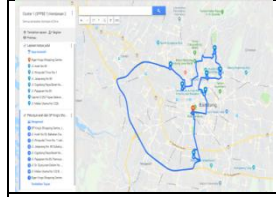
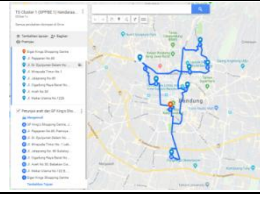
Perbedaan jarak total yang signifikan ini antara kondisi *eksisting* dengan usulan disebabkan pertama bahwa distribusi pemenuhan permintaan antara gudang perantara dengan ritel/agen sebagai pelanggan dilakukan dengan cara *random* di mana setiap permintaan yang diterima oleh perusahaan langsung direspons oleh perusahaan tanpa memperhatikan pemenuhan kapasitas kendaraan angkut dan pemilihan rute. Hal ini berakibat kepada total jarak tempuh semakin panjang.

Sementara dengan pendekatan terintegrasi memperhatikan kelompok pelanggan, relokasi gudang antara yang mendekati wilayah pemasarannya dengan sistem tertutup dengan kata lain setiap gudang perantara hanya melayani permintaan dari klasternya.

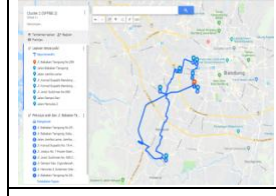
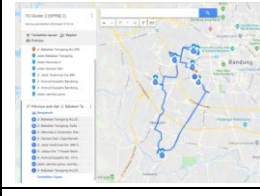
Kemudian memaksimalkan kapasitas kendaraan angkut dalam satu ritasi pengantaran dan terakhir adalah mengikuti urutan rute pelayanan yang telah ditetapkan pada setiap klaster sehingga jarak terpendek dalam setiap klasternya dapat dicapai. Gambar 8a sampai dengan Gambar 13a menunjukkan hasil perbandingan pemilihan rute dan jarak tempuh dengan pendekatan *Insertion Heuristic* dan *Tabu Search Metaheuristic*. Gambar 8a sampai dengan 13b menunjukkan rute yang dihasilkan dari 11 ritasi dengan pendekatan usulan antara *Insertion Heuristic* vs *Tabu Search*.

|                                                                                     |                                                                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                   | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                           |
| {0, 25, 28, 50, 34, 38, 23, 63, 0}                                                  | {0, 25, 28, 50, 34, 38, 23, 63, 0}                                                  |
| 17,8 km                                                                             | 17,8 km                                                                             |

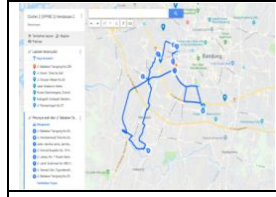
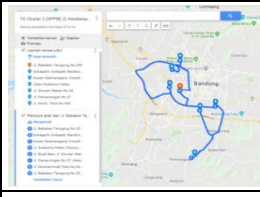
Gambar 8a. Jarak tempuh ritasi klaster 1 rute 1

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                  | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                           |
| {0, 2, 58, 16, 6, 37, 53, 62, 0}                                                   | {0, 37, 53, 58, 16, 6, 2, 62, 0}                                                    |
| 42,9 km                                                                            | 34,4 km                                                                             |

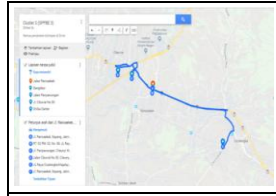
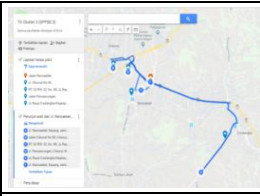
Gambar 8b. Jarak tempuh ritasi klaster 1 rute 2

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                  | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                           |
| {0, 69, 15, 57, 30, 56, 45, 7, 0}                                                  | {0, 69, 7, 45, 56, 30, 57, 15, 0}                                                   |
| 26,35 km                                                                           | 25,45 km                                                                            |

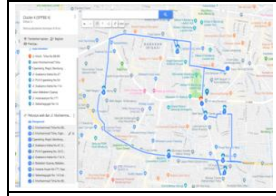
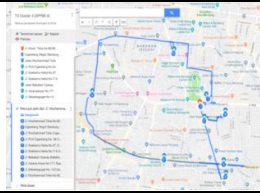
Gambar 9a. Jarak tempuh ritasi klaster 2 rute 1

|                                                                                     |                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                   | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                            |
| {0, 67, 43, 27, 3, 40, 22, 0}                                                       | {0, 40, 3, 27, 43, 22, 67, 0}                                                        |
| 62,2 km                                                                             | 50,1 km                                                                              |

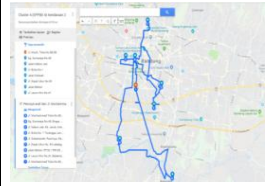
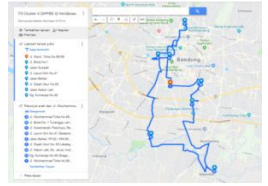
Gambar 9b. Jarak tempuh ritasi klaster 2 rute 2

|                                                                                      |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                    | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                             |
| {0, 12, 55, 5, 52, 0}                                                                | {0, 5, 12, 55, 52, 0}                                                                 |
| 41,9 km                                                                              | 41,3 km                                                                               |

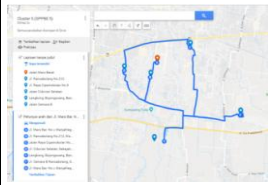
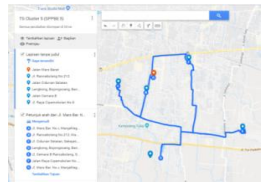
Gambar 10. Jarak tempuh ritasi klaster 3 rute 1

|                                                                                      |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                    | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                             |
| {0, 65, 19, 4, 66, 59, 13, 18, 35, 0}                                                | {0, 19, 65, 66, 4, 59, 13, 18, 35, 0}                                                 |
| 14,1 km                                                                              | 13,3 km                                                                               |

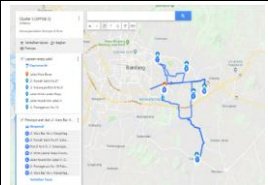
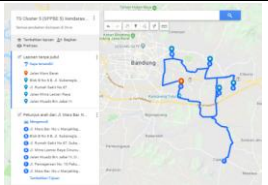
Gambar 11a. Jarak tempuh ritasi klaster 4 rute 1

|                                                                                   |                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                 | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                         |
| {0, 64, 29, 9, 71, 68, 7, 51, 0}                                                  | {0, 9, 71, 51, 72, 68, 29, 64, 0}                                                 |
| 41 km                                                                             | 36,9 km                                                                           |

Gambar 11b. Jarak tempuh ritasi klaster 4 rute 2

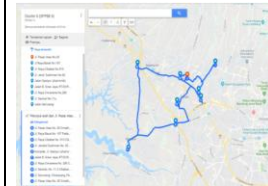
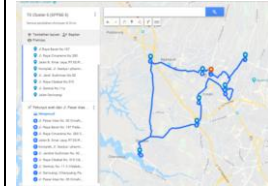
|                                                                                   |                                                                                   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                 | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                         |
| {0, 49, 31, 44, 8, 21, 0}                                                         | {0, 49, 44, 8, 21, 31, 0}                                                         |
| 23,5 km                                                                           | 20,45 km                                                                          |

Gambar 12a. Jarak tempuh ritasi klaster 5 rute 1

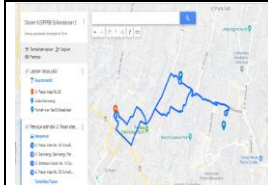
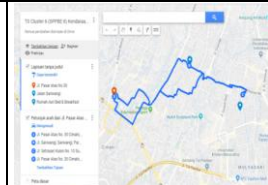
|                                                                                    |                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                  | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                          |
| {0, 10, 20, 0}                                                                     | {0, 10, 20, 0}                                                                     |
| 15,1 km                                                                            | 15,1 km                                                                            |

|                                   |                            |
|-----------------------------------|----------------------------|
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i> | Ritasi <i>Tabu Search</i>  |
| {0, 14, 60, 33, 46, 36, 0}        | {0, 60, 14, 33, 46, 36, 0} |
| 64,9 km                           | 59,8 km                    |

Gambar 12b. Jarak tempuh ritasi klaster 5 rute 2

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                  | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                           |
| {0, 26, 39, 17, 41, 1, 54, 11, 48, 0}                                              | {0, 26, 54, 1, 41, 17, 39, 11, 48, 0}                                               |
| 39,6 km                                                                            | 35,8 km                                                                             |

Gambar 13a. Jarak tempuh ritasi klaster 6 rute 1

|                                                                                    |                                                                                     |
|------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  |  |
| Ritasi <i>Insertion Heuristic</i>                                                  | Ritasi <i>Tabu Search</i>                                                           |
| {0, 10, 20, 0}                                                                     | {0, 10, 20, 0}                                                                      |
| 15,1 km                                                                            | 15,1 km                                                                             |

Gambar 13b. Jarak tempuh ritasi klaster 6 rute 2

#### IV. PEMBAHASAN

Dari perbandingan antara kedua pendekatan, pada halaman berikut terlihat bahwa Gambar 9a antara pendekatan *Insertion Heuristic* dengan *Tabu Search* tidak terdapat perbedaan ritasi antara keduanya dengan jarak total 17,8 km untuk klaster 1 rute 1. Namun pada gambar 9b yaitu klaster 1 rute 2 nampak bahwa antara keduanya mempunyai pilihan ritasi yang berbeda di mana pendekatan *Tabu Search* menghasilkan perbedaan jarak total lebih pendek dan sangat signifikan yaitu 42,9 berbanding 34,4 km, dengan pilihan ritasi yang berbeda. Secara rerata mulai dari gambar 9b sampai dengan 14b menunjukkan pendekatan *Tabu Search* telah menghasilkan jarak terpendek secara signifikan bila dibandingkan dengan pendekatan *Insertion Heuristic*.

Dari solusi jarak terpendek dengan pendekatan *Tabu Search* maka dapat ditetapkan kemudian biaya total transportasi pemenuhan permintaan pada setiap klaster, seperti ditunjukkan pada Tabel VI. Tabel VI menjelaskan bahwa sebagai akibat jarak total usulan menghasilkan perbedaan jarak yang sangat jauh maka berdampak pada biaya total transportasi.

Dari perbandingan antara kedua pendekatan, terlihat bahwa Gambar 9a antara pendekatan *Insertion Heuristic* dengan *Tabu Search* tidak terdapat perbedaan ritasi antara keduanya dengan

jarak total 17,8 km untuk klaster 1 rute 1. Namun pada gambar 9b yaitu klaster 1 rute 2 tampak bahwa antara keduanya mempunyai pilihan ritasi yang berbeda di mana pendekatan *Tabu Search* menghasilkan perbedaan jarak total lebih pendek dan sangat signifikan yaitu 42,9 berbanding 34,4 km, dengan pilihan ritasi yang berbeda. Secara rerata mulai dari gambar 9b sampai dengan 14b menunjukkan pendekatan *Tabu Search* telah menghasilkan jarak terpendek secara signifikan bila dibandingkan dengan pendekatan *Insertion Heuristic*.

Dari solusi jarak terpendek dengan pendekatan *Tabu Search* maka dapat ditetapkan kemudian biaya total transportasi pemenuhan permintaan pada setiap klaster, seperti ditunjukkan pada Tabel VI. Tabel VI menjelaskan bahwa sebagai akibat jarak total usulan menghasilkan perbedaan jarak yang sangat jauh maka berdampak pada biaya total transportasi. Struktur biaya ini terbentuk dari biaya variabel dan biaya tetap kondisi *eksisting* yang kemudian diperbandingkan dengan jarak total *eksisting* maka diperoleh indeks biaya yang kemudian dikalikan dengan jarak total hasil usulan (lihat persamaan 9 dan 10) maka diperoleh total biaya seperti pada Tabel VI tersebut. Tingkat efisiensi yang dihasilkan sangat besar dengan rerata 72,28% dari biaya total *eksisting*.

TABEL VI  
PERBANDINGAN BIAYA KONDISI *EKSISTING* VS USULAN

| Pendekatan<br>Penyelesaian                       | Total Biaya<br>Distribusi (Rp) | Efisiensi<br>(%) |
|--------------------------------------------------|--------------------------------|------------------|
| Rute Kondisi <i>Eksisting</i>                    | 39.184.998,00                  | -                |
| Rute Usulan Awal –<br><i>Insertion Heuristic</i> | 11.684.638,08                  | 70,18            |
| Rute <i>Optimisasi</i> – Tabu<br>Search          | 11.604.954,33                  | 70,38            |

Pendekatan terpadu pada perancangan rute distribusi memang dapat menghasilkan penghematan biaya yang signifikan dan peningkatan ketahanan rantai pasokan. Hal ini terutama dicapai melalui optimalisasi berbagai fungsi rantai pasokan secara bersamaan, yang meningkatkan efisiensi operasional dan respons terhadap permintaan pasar. Hal ini juga dipertegas oleh [22], [29].

## V. KESIMPULAN

Pendekatan terpadu di dalam merancang sistem pelayanan memberi manfaat yang baik bagi pengusaha di dalam menjalankan bisnisnya. Tingkat efisiensi dan efektivitas yang menjadi tolak ukur keberhasilan sebuah usaha menjadi pertimbangan mutlak untuk menghasilkan profit yang tinggi. Sebagaimana dalam kasus distribusi gas 3 kg pada wilayah pemasaran Kota Bandung Timur diperoleh efisiensi jarak antara kondisi *eksisting* sebesar 81,0% secara rerata antara kedua metode usulan, *Insertion Heuristic* dan *Tabu Search*. Demikian biaya total distribusi pemenuhan permintaan ritel/agen kepada keenam gudang perantara menghasilkan efisiensi biaya sebesar 72,28% sebagai akibat diperolehnya jarak total distribusi terpendek. Penelitian ini telah menunjukkan bahwa pendekatan optimasi terpadu menghasilkan solusi yang baik dan sebagai dasar pertimbangan dalam meningkatkan pelayanan konsumen yang akan berdampak meningkatnya profitabilitas perusahaan.

Pendekatan terpadu terhadap perancangan rute distribusi, yang difokuskan pada meminimalkan biaya transportasi, dapat menghasilkan manfaat yang signifikan. Dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti lokasi gudang antara, rute ritasi kendaraan angkut dengan memperhatikan kapasitas kendaraan angkut pada sebaran ritel/agen, perusahaan dapat mengoptimalkan rute untuk efisiensi dan efektivitas biaya. Pendekatan terpadu ini selain menekan biaya transportasi langsung namun juga meningkatkan produktivitas pengiriman dan berpotensi meningkatkan kapasitas/konsolidasi pengiriman. Penelitian lebih jauh dapat dilakukan dengan mengintegrasikan teknologi seperti *blockchain*, *IoT*, dan *cloud computing* untuk

dapat meningkatkan visibilitas dan berpotensi menghasilkan laba atas investasi yang tinggi bagi berbagai pemangku kepentingan dalam rantai pasokan.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Ketua dan Anggota Tim Peneliti mengucapkan terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Pasundan atas dukungan terhadap penelitian ini.

## REFERENSI

- [1] Christopher, Martin. *Logistics & Supply Chain Management*. Fourth Edition. Pearson. London. 2011.
- [2] Plenert, Gerhard J. *Supply Chain Optimization Through Segmentation and Analytics*. Taylor & Francis Group. New York. 2014.
- [3] Grant, David B., Alexander Trautrim dan Chee Yew Wong. *Sustainable Logistics and Supply Chain Management*. Revised Edition. Kogan Page. London. 2015.
- [4] Roe, Michael, Wei Xu dan Dongping Song. *Optimizing Supply Chain Performance*. Palgrave Mac Millan. United Kingdom. 2015.
- [5] Wu, Z., Song, S., & Zhang, Y. (2024). Research on integrated optimization of urban logistics cargo loading and transportation paths. 35. <https://doi.org/10.1117/12.3054512>
- [6] Stupnikova, E. (2024). Efficient management of material flows in retail chains. *Othody Resursy*, 11(4). <https://doi.org/10.15862/08ecor424>
- [7] Hu, S., Wu, H., Yin, X., Ke, H., & Zou, F. (2023). Logistics and Distribution Path Optimization Model Based on Hybrid Intelligent Algorithm. 1–6. <https://doi.org/10.1109/ddp60485.2023.00011>
- [8] Kolla, D. P. (2024). Integration and Optimization of Route Planning and Inventory Management in Supply Chain Transaction Systems: A Comprehensive Analysis. *International Journal of Scientific Research in Computer Science, Engineering and Information Technology*. <https://doi.org/10.32628/cseit241061173>
- [9] Yağmur, E., & Kesen, S. E. (2023). Integrated production scheduling and vehicle routing problem with energy efficient strategies: Mathematical formulation and metaheuristic algorithms. *Expert Systems With Applications*. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2023.121586>
- [10] Sun, X., Yu, S., & Song, S. (2024). Research on Optimization of Logistics and Distribution Paths Based on Improved Ant Colony Algorithm. 1705–1710. <https://doi.org/10.1109/icpics62053.2024.10797158>
- [11] Almeida, C. F., Yamashita, Y., Cools, M., Marchal, J., & Piette, B. (2021). Methodology Focused on Identifying Variables Necessary to Develop Logistics Clusters. *Journal of Sustainable Development*, 14(3), 147. <https://doi.org/10.5539/JSD.V14N3P17>
- [12] Nadhila, A. A., Ariyanto, Y., & Syaifudin, Y. W. (2024). Clusterization of MSMe and Warehouse Locations for Efficiency of Courier Placement. *Journal of Evrimata*, 144–149. [https://doi.org/10.70822/journal\\_ovevrmata.v2i02.66](https://doi.org/10.70822/journal_ovevrmata.v2i02.66)

- [13] Xu, C., & Zheng, F. (2024). Research on the Application of Weighted Distance K-means Clustering Algorithm with Capacity Constraint in Express Service Location. 1–5. <https://doi.org/10.1109/isctech63666.2024.10845541>
- [14] Mohanty, M., Singh, R., & Shankar, R. (2018). Improving the operational efficiency of outbound retail logistics using clustering of retailers and consumers. *Journal of Modelling in Management*, 13(3), 646–674. <https://doi.org/10.1108/JM2-12-2016-0137>
- [15] Ulu, M. (2024). Warehouse location selection with fuzzy c-means method. *Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi*, 21(4), 102–114. <https://doi.org/10.11611/yead.1373617>
- [16] Pajic, V., Andrejic, M., Jolović, M., & Kilibarda, M. (2024). Strategic Warehouse Location Selection in Business Logistics: A Novel Approach Using IMF SWARA–MARCOS—A Case Study of a Serbian Logistics Service Provider. *Mathematics*. <https://doi.org/10.3390/math12050776>.
- [17] Klar, R., Andersson, A., Fredriksson, A., & Angelakis, V. (2024). Container Relocation and Retrieval Tradeoffs Minimizing Schedule Deviations and Relocations. *IEEE Open Journal of Intelligent Transportation Systems*, 1. <https://doi.org/10.1109/ojits.2024.3413197>
- [18] Krynke, M. (2024). Virtual Simulation Modeling as a Key Element of Warehouse Location Optimization Strategy. *Management Systems in Production Engineering*, 32(3), 339–344. <https://doi.org/10.2478/mspe-2024-0032>
- [19] Li, X. (2017). Solving transportation problems with warehouse locations based on greedy algorithm. 693–697. <https://doi.org/10.2991/AMMEE-17.2017.133>
- [20] Zapata, A. C., Garnica, E. A., Mota, R., Álvarez, F., Flores, J. L., & Partida, D. (2020). Warehouse Relocation of a Company in the Automotive Industry Using P-median. *Advances in Science, Technology and Engineering Systems Journal*, 5(3), 576–582. <https://doi.org/10.25046/AJ050372>
- [21] Karoonsoontawong, A., Kobkattawin, O., Xie, C., & Xie, C. (2019). Efficient Insertion Heuristic Algorithms for Multi-Trip Inventory Routing Problem with Time Windows, Shift Time Limits and Variable Delivery Time. *Networks and Spatial Economics*, 19(2), 331–379. <https://doi.org/10.1007/S11067-017-9369-7>
- [22] Fernando, W., Thibbotuwawa, A., Perera, H. N., Nielsen, P., & Kilic, D. K. (2024). An integrated vehicle routing model to optimize agricultural products distribution in retail chains. *Cleaner Logistics and Supply Chain*. <https://doi.org/10.1016/j.clscn.2023.100137>
- [23] Hlaing, W. M., Liu, S.-J., & Pan, J.-S. (2019). A novel solution for simultaneously finding the shortest and possible paths in complex networks. *Journal of Internet Technology*, 20(6), 1693–1707. <https://jit.ndhu.edu.tw/article/download/2158/2171>
- [24] Reddy, T. S., Dhanush, D., Krithin, T., & Jayan, S. (2024). Supply Chain Logistics With Hybrid Optimization using ADMM and Vehicle Routing Problem. 1–7. <https://doi.org/10.1109/iceec62498.2024.10808286>
- [25] Salcedo-Moncada, B. F., Morillo-Torres, D., & Gatica, G. (2023). Tabu Search with Multiple Decision Levels for Solving Heterogeneous Fleet Pollution Routing Problem (pp. 61–75). [https://doi.org/10.1007/978-3-031-26504-4\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-031-26504-4_5)
- [26] Saragih, N. I., & Turnip, P. (2024). Tabu Search Algorithm for Solving a Location-Routing-Inventory Problem. *Spektrum Industri : Jurnal Ilmiah Pengetahuan Dan Penerapan Teknik Industri*, 22(2), 155–162. <https://doi.org/10.12928/si.v22i2.234>
- [27] Ru, S. (2024). Vehicle logistics intermodal route optimization based on Tabu search algorithm. *Dental Science Reports*, 14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-60361-7>
- [28] Trisolvena, M. N., Wattimena, F. Y., & Untajana, P. P. (2024). Logistics Efficiency in Product Distribution with Genetic Algorithms for Optimal Routes. *International Journal Software Engineering and Computer Science*. <https://doi.org/10.35870/ijsecs.v4i1.2045>
- [29] Luo, F. (2024). *Study on the Impact Mechanism of Supply Chain Integration on Supply Chain Resilience*. <https://doi.org/10.62051/wt7hx264>