

Visualisasi Rute Vehicle Routing Problem Menggunakan Open Route Service sebagai Platform Geospasial

Maxsi Ary*

Universitas Adhirajasa Reswara Sanjaya, Indonesia
maxsi@ars.ac.id

Informasi Artikel

Kata Kunci:

Open Route Service; Visualisasi Geospasial, Vehicle Routing Problem; Optimasi Rute

Histori Artikel:

Disubmit 18 Juni 2025

Direvisi 27 Juni 2025

Diterima 22 Juli 2025

Tersedia daring 31 Juli 2025

Sitasi:

M. Ary, "Visualisasi Rute Vehicle Routing Problem Menggunakan Open Route Service sebagai Platform Geospasial," Pros. Semnastek Univ. Suryakancana, vol. 2, no. 1, 2025.

* Penulis Korespondensi.

Maxsi Ary*

Alamat E-mail:
maxsi@ars.ac.id

Abstrak

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan permasalahan logistik klasik yang berfokus pada penentuan rute optimal untuk armada kendaraan guna memenuhi permintaan pelanggan dengan efisiensi maksimum. Meskipun berbagai algoritma telah digunakan untuk menyelesaikan permasalahan ini, integrasi teknologi visualisasi rute berbasis geospasial masih belum banyak diterapkan secara komprehensif. Penelitian ini mengusulkan pemanfaatan OpenRouteService (ORS) sebagai platform visualisasi geospasial yang terintegrasi dalam model VRP multi-kendaraan. Dengan menggunakan data permintaan pelanggan dan jarak antar titik, solusi rute yang dihasilkan oleh algoritma optimasi diubah ke dalam bentuk visual interaktif berbasis peta menggunakan API dari ORS. Studi kasus dilakukan pada sistem distribusi PT Pos Indonesia wilayah Boyolali, yang mencakup 19 titik pengantaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi ORS tidak hanya mempercepat interpretasi hasil optimasi rute oleh pengambil keputusan, tetapi juga meningkatkan akurasi spasial dan komunikasi logistik di lapangan. Visualisasi rute ini mendukung proses validasi operasional serta mempermudah penyesuaian terhadap kendala nyata di medan. Penelitian ini berkontribusi dalam pengembangan solusi logistik berbasis teknologi terbuka dan menyarankan integrasi platform visualisasi seperti ORS dalam sistem perencanaan distribusi modern.

1. Pendahuluan

Dalam era globalisasi dan pertumbuhan pesat *e-commerce*, efisiensi distribusi barang menjadi krusial bagi perusahaan logistik. *Vehicle Routing Problem (VRP)* merupakan permasalahan optimasi kombinatorial yang bertujuan menentukan rute optimal bagi armada kendaraan untuk memenuhi permintaan pelanggan dengan efisiensi maksimal [1]. Solusi VRP yang efektif tidak hanya mengurangi biaya operasional, tetapi juga meningkatkan kualitas layanan dan mengurangi jejak karbon [2][3]. Seiring kemajuan teknologi informasi, kebutuhan akan visualisasi spasial dalam sistem pengambilan keputusan logistik semakin tinggi.

Berbagai pendekatan algoritmik telah diusulkan untuk menyelesaikan VRP, seperti *metaheuristic algorithms*, *exact methods*, hingga pendekatan berbasis *machine learning*. Namun, keterbatasan dalam representasi visual rute hasil optimasi menyebabkan kesenjangan antara solusi teoretis dan implementasi lapangan. Minimnya dukungan visualisasi yang terintegrasi dalam sistem pengambilan keputusan menyebabkan rendahnya pemahaman operasional terhadap rute yang dihasilkan [4][5].

Studi sebelumnya telah menunjukkan bahwa integrasi platform geospasial dapat meningkatkan keandalan solusi logistik [6]. Salah satu platform *open-source* yang populer adalah *OpenRouteService (ORS)*, yang menyediakan layanan pemetaan berbasis *OpenStreetMap* serta mendukung permintaan rute multi-tujuan secara dinamis [7]. Bräutigam et al. menjelaskan bahwa ORS dapat meningkatkan pemodelan rute dengan menyediakan API spasial yang mendukung integrasi sistem logistik secara real-time [8]. Di sisi lain, Ary [9] menunjukkan efektivitas *Ant Colony Optimization (ACO)* untuk optimasi VRP di sektor distribusi, namun pendekatan visualisasi rute masih belum menjadi fokus utama dalam studi tersebut. Kajian oleh Ishibuchi et al. juga menyoroti pentingnya strategi seleksi berbasis peringkat seperti *Objective Ranking Strategy (ORS)* dalam mengelola banyak tujuan pada permasalahan optimasi [10]. Meskipun demikian, kajian mendalam mengenai pemanfaatan ORS secara khusus sebagai alat visualisasi spasial dalam solusi VRP masih terbatas dalam literatur akademik mutakhir.

Penelitian ini mengusulkan penggunaan ORS sebagai platform visualisasi geospasial dalam sistem solusi VRP. Dengan memanfaatkan *Application Programming Interface (API)* dari ORS, rute optimal yang dihasilkan dari algoritma optimasi dapat ditransformasikan menjadi peta interaktif. Visualisasi ini memungkinkan peningkatan pemahaman pengguna akhir, mempercepat proses validasi rute, serta memperkuat komunikasi operasional antara perencana dan pengemudi.

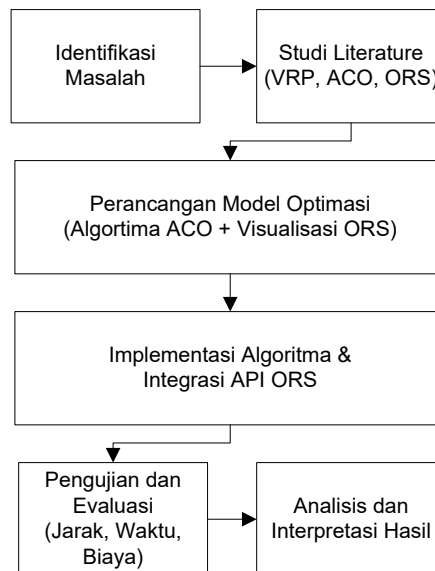
Kontribusi utama dari penelitian ini adalah integrasi ORS dalam sistem visualisasi solusi VRP secara spasial. Pendekatan ini menawarkan kebaruan dalam praktik logistik dengan menjembatani antara solusi algoritmik dan kebutuhan operasional berbasis visual. Selain itu, studi ini memperkaya pemanfaatan teknologi *open-source* berbasis geospasial untuk sistem perencanaan distribusi masa kini.

Berdasarkan latar belakang tersebut, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah bagaimana memvisualisasikan hasil optimasi Vehicle Routing Problem secara spasial agar dapat meningkatkan efisiensi interpretasi dan akurasi operasional di lapangan. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem visualisasi geospasial berbasis Open Route Service (ORS) untuk merepresentasikan solusi rute hasil optimasi VRP secara interaktif dan terukur pada studi kasus distribusi PT Pos Indonesia Boyolali.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui enam tahapan sistematis: (1) identifikasi masalah distribusi logistik, (2) studi literatur, (3) perancangan algoritma dan visualisasi, (4) implementasi algoritma, (5) pengujian kinerja sistem, dan (6) analisis hasil dan penarikan kesimpulan. Pendekatan ini sejalan dengan metodologi sistematis dalam pengembangan solusi VRP yang disarankan oleh Toth dan Vigo [11]. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen berbasis kuantitatif, untuk mengevaluasi efektivitas integrasi algoritma ACO dengan sistem visualisasi geospasial berbasis ORS. Desain ini memfasilitasi analisis performa algoritma dalam menyelesaikan VRP dengan mempertimbangkan efisiensi, akurasi, dan keterbacaan visual, sebagaimana disarankan oleh Lou et al. [3] dan Danach et al. [4].

Untuk menggambarkan alur pelaksanaan penelitian secara sistematis dan terstruktur, Gambar 1 berikut ini menyajikan diagram alir metode penelitian yang digunakan. Diagram ini menunjukkan tahapan-tahapan utama yang dilalui, mulai dari identifikasi masalah hingga penarikan kesimpulan. Setiap tahapan dirancang untuk mendukung pengembangan model optimasi VRP berbasis algoritma ACO yang terintegrasi dengan platform visualisasi spasial ORS. Diagram ini juga berfungsi sebagai panduan konseptual dalam menjelaskan prosedur teknis pada bagian-bagian selanjutnya.



Gambar 1. Diagram Alir Metode Penelitian

Diagram alir Gambar 1 menjelaskan tahapan sistematis dalam penelitian ini, dimulai dari identifikasi masalah distribusi logistik hingga penyusunan kesimpulan. Berikut penjelasan singkat tiap tahap:

- Identifikasi Masalah:** Mengenali permasalahan dalam optimasi rute distribusi dan kebutuhan visualisasi spasial.
- Studi Literatur:** Mengkaji teori dan penelitian terdahulu terkait VRP, algoritma ACO, dan platform ORS.
- Perancangan Model Optimasi:** Menyusun model gabungan antara ACO untuk pencarian solusi rute dan ORS untuk visualisasi rute secara geospasial.
- Implementasi dan Integrasi Sistem:** Menerapkan algoritma dan menghubungkannya dengan API ORS untuk menghasilkan output visual.
- Pengujian dan Evaluasi:** Menggunakan metrik jarak tempuh, waktu tempuh, dan biaya operasional untuk mengevaluasi solusi.
- Analisis dan Interpretasi Hasil:** Menganalisis hasil eksperimen untuk menilai efektivitas dan efisiensi sistem.

2.1. Prosedur Penelitian

ACO merupakan algoritma *metaheuristic* yang meniru perilaku koloni semut dalam menemukan rute terpendek menuju sumber makanan. Dalam konteks VRP, ACO mampu membangun solusi optimal berdasarkan probabilitas transisi, pembaruan jejak feromon, dan mekanisme eksplorasi ruang solusi [4][9][12]. Langkah-langkah algoritma ACO mencakup:

1. Inisialisasi parameter: jumlah semut, tingkat evaporasi feromon, iterasi maksimum;
2. Pembangunan solusi oleh setiap semut berdasarkan probabilitas transisi;
3. Evaluasi solusi berdasarkan jarak tempuh atau biaya;
4. Pembaruan feromon sesuai kualitas solusi;
5. Iterasi berulang hingga solusi konvergen atau mencapai iterasi maksimum.

Metode ini didukung secara konseptual dalam studi oleh Dorigo dan Di Caro [12] dan diperkuat dalam penerapannya untuk distribusi logistik oleh Ary [9].

ORS adalah sistem *open-source routing* berbasis OpenStreetMap yang menyediakan API untuk menghitung jarak, estimasi waktu, dan memvisualisasikan rute secara interaktif [7][8]. Dalam penelitian ini, ORS digunakan untuk menyajikan hasil optimasi rute ACO dalam bentuk peta digital yang informatif. Penggunaan ORS memberikan keuntungan dalam hal keterbukaan data, ketepatan spasial, dan dukungan multi-metrik seperti profil kendaraan dan batasan jalan [8][13]. Penggunaan API ini telah terbukti mampu meningkatkan efisiensi implementasi sistem pengambilan keputusan berbasis spasial [6][13].

2.2. Metode Pengujian

Tiga metrik utama digunakan untuk mengevaluasi solusi:

- a. Total jarak tempuh (km)
- b. Perkiraan waktu penyelesaian (detik)
- c. Biaya operasional (berbasis bahan bakar dan tenaga kerja)

Evaluasi dilakukan berdasarkan perbandingan antara solusi optimasi ACO dan pendekatan rute manual atau historis. Pendekatan ini mengikuti kerangka eksperimen pengujian performa algoritma dalam VRP seperti yang dilakukan oleh Huang et al. [14] dan Osaba et al. [15].

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari:

- a. Data pelanggan dan lokasi tujuan: Diperoleh dari sistem informasi logistik internal PT Pos Indonesia Boyolali;
- b. Data jalan dan geospasial: Diunduh dari basis data *OpenStreetMap* dan diakses melalui API ORS [6][13];
- c. Parameter kendaraan dan biaya operasional: Disusun berdasarkan standar operasional lapangan dan literatur terkait efisiensi pengiriman [2][16].

Penggunaan data *open-access* semacam OSM telah diakui sebagai pendekatan yang valid dan efektif dalam pemodelan jaringan logistik modern [13].

Untuk menjaga validitas hasil, setiap strategi rute diuji dalam 10 kali percobaan dengan parameter yang sama. Nilai-nilai evaluasi seperti jarak tempuh, waktu tempuh, dan biaya operasional dirata-ratakan dari seluruh percobaan. Simpangan baku juga dihitung untuk mengukur stabilitas kinerja algoritma. Pendekatan ini dimaksudkan untuk memastikan bahwa hasil yang diperoleh tidak bersifat kebetulan atau anomali tunggal.

2.3. Open Route Service (ORS)

ORS merupakan layanan pemetaan berbasis *open-source* yang menyediakan fitur pemodelan rute secara real-time menggunakan data jaringan jalan dari *OpenStreetMap*. Dalam penelitian ini, ORS digunakan untuk memvisualisasikan hasil optimasi rute dari algoritma ACO dalam bentuk peta interaktif berbasis jalan raya. Visualisasi ini dilakukan menggunakan lingkungan pemrograman MATLAB dan API resmi dari ORS. Untuk dapat menggunakan ORS, pengguna perlu untuk melakukan beberapa hal berikut:

1. Mengunjungi situs resmi di <https://openrouteservice.org>.
2. Mendaftar akun dan memverifikasi email.
3. Login dan membuka menu "Dashboard".
4. Membuat token baru untuk memperoleh API key.
5. API key ini diperlukan dalam setiap permintaan rute yang dikirim melalui skrip MATLAB.

Untuk menentukan rute dari koordinat yang telah diinputkan dalam bentuk array latitude dan longitude, misalnya koordinat dari 19 Kantor Pos di Wilayah Boyolali. Setelah itu, urutan titik layanan (*route_order*) ditentukan untuk mencerminkan hasil dari strategi optimasi tertentu (misalnya: *Greedy Distance Minimisation* atau *Weighted Sum Approach*).

Untuk merealisasikan proses pemetaan rute hasil optimasi tersebut, pada Listing 1 digunakan MATLAB yang terhubung dengan API milik OpenRouteService. Proses ini mencakup tahapan membangun permintaan rute antar titik (BEGIN dan END) sesuai urutan layanan yang telah ditentukan, mengambil respons koordinat hasil rute dari ORS, dan memvisualisasikannya dalam bentuk peta geospasial menggunakan fungsi *geoplot* dan *geoscatter*. Alur logika pemrograman yang digunakan untuk melakukan integrasi ini dijelaskan dalam pseudocode berikut.

Listing 1. Pseudocode struktur program visualisasi rute menggunakan OpenRouteService.

BEGIN

// Inisialisasi API Key ORS

Simpan API Key ke variabel

// Input data koordinat lokasi kantor pos

```
locations ← array [latitude, longitude]

// Tentukan urutan titik berdasarkan hasil optimasi
route_order ← array indeks kunjungan (hasil dari ACO/Greedy/etc)

// Siapkan tampilan peta
Buat figure, aktifkan geobasemap 'streets'
Aktifkan hold on

// Looping untuk ambil dan gambar rute antar titik
FOR i = 1 to length(route_order) - 1 DO
    start ← koordinat titik ke-i [lon, lat]
    end ← koordinat titik ke-(i+1) [lon, lat]

    // Buat URL permintaan ORS (dengan parameter start & end)
    url ← base_url + query_params(start, end)

    // Tambahkan API Key ke dalam header
    header ← Authorization: API_Key

    // Kirim permintaan dan ambil data rute (JSON)
    response ← webread(url, header)

    // Ambil koordinat hasil rute dan ubah ke [lat, lon]
    route_coords ← flip(response.geometry.coordinates, 2)

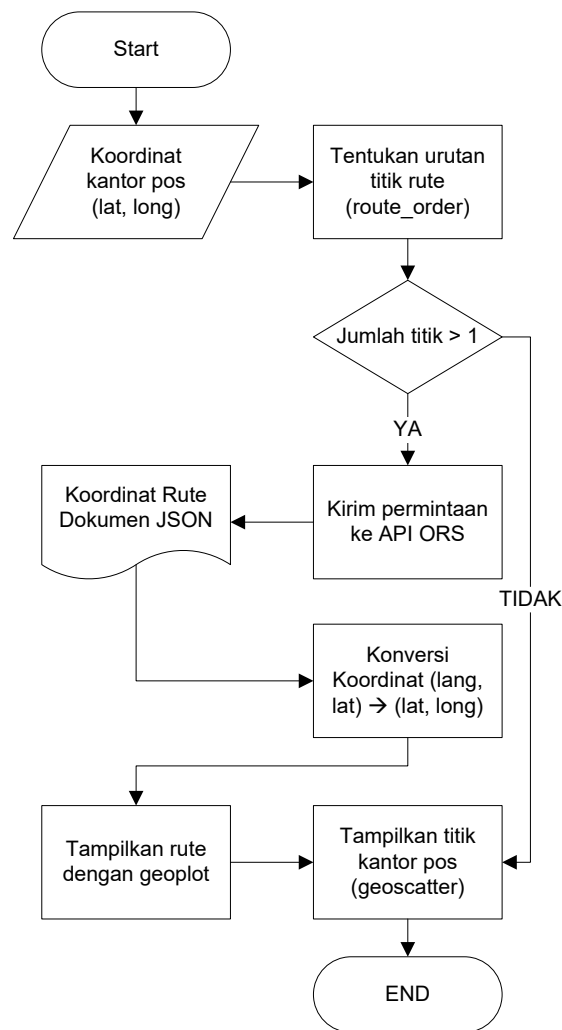
    // Tampilkan rute menggunakan geoplot
    geoplot(route_coords)

    pause(1) // Hindari pembatasan API
END FOR

// Gambar semua titik kantor pos dengan geoscatteer
geoscatteer(locations)

END
```

Gambar 2 adalah *flowchart* yang merepresentasikan langkah-langkah utama dari program MATLAB yang digunakan.



Gambar 2. Flowchart Proses Visualisasi Rute Optimasi VRP Menggunakan OpenRouteService di MATLAB

Gambar 2 menunjukkan alur proses visualisasi rute optimasi menggunakan OpenRouteService (ORS) dalam MATLAB. Diagram diawali dengan pengambilan koordinat kantor pos dan penentuan urutan rute berdasarkan hasil optimasi. Setelah itu, dilakukan pengambilan keputusan apakah jumlah titik lebih dari satu. Jika ya, program melakukan iterasi pasangan titik untuk membentuk rute, mengirim permintaan ke ORS, menerima data respon dalam format JSON, mengonversi koordinat, dan memvisualisasikan rute menggunakan fungsi geoplot. Jika tidak, program langsung menampilkan titik lokasi menggunakan geoscatte.

Output dari proses ini adalah peta jalan (basemap: 'streets') dengan garis merah yang merepresentasikan rute hasil optimasi VRP berbasis kondisi nyata jalan di wilayah Boyolali. Visualisasi ini sangat berguna untuk mengevaluasi:

- Efisiensi spasial rute yang dihasilkan.
- Distribusi geografis titik pengantaran.
- Kesesuaian antara perhitungan algoritmik dan realita operasional.

3. Hasil dan Pembahasan

ORS digunakan dalam penelitian ini untuk menghasilkan dan memvisualisasikan rute hasil optimasi, guna meningkatkan kejelasan dari hasil perhitungan rute [6]. ORS menyediakan kemampuan pemetaan rute secara real-time dengan memanfaatkan data jaringan jalan untuk menghitung lintasan perjalanan paling efisien berdasarkan titik-titik rute yang telah ditentukan sebelumnya. Layanan ini sangat relevan dalam penyelesaian VRP, karena mampu memberikan estimasi jarak dan biaya perjalanan yang akurat, serta menjamin bahwa rute mengikuti kondisi jalan nyata [7]. Dalam penelitian ini, terdapat tiga strategi optimasi VRP utama yang dipetakan menggunakan ORS, yaitu:

- Pendekatan Penjumlahan Tertimbang (*Weighted Sum Approach*)
- Minimisasi Jarak Serakah (*Greedy Distance Minimisation*)
- Rute Optimal Tunggal (*Single Optimal Route*)

Setiap rute dihitung menggunakan API ORS dengan mengirim permintaan yang mendefinisikan titik awal, titik-titik antar (waypoints), dan titik akhir. Respon dari ORS berupa file *JSON* yang berisi data pemetaan jalan secara rinci, kemudian divisualisasikan dalam MATLAB menggunakan fungsi pemetaan geospasial.

3.1. Visualisasi Perbandingan Strategi Route

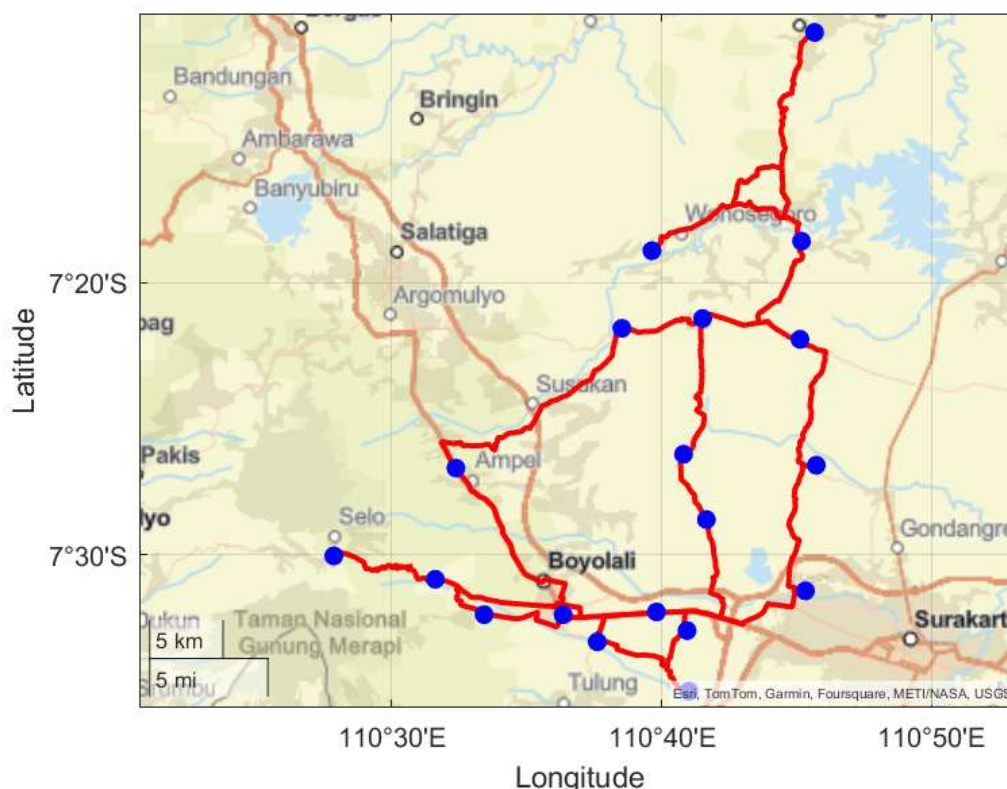
Bagian ini menyajikan perbandingan visual berbasis peta terhadap ketiga strategi optimasi VRP di atas, untuk menggambarkan pengaruh pendekatan yang berbeda terhadap efisiensi pengiriman di wilayah PT Pos Indonesia Boyolali. Dengan memanfaatkan ORS, rute yang dihasilkan dari masing-masing strategi dianalisis berdasarkan:

- Efisiensi Rute – Membandingkan seberapa baik setiap metode mengoptimalkan jarak tempuh sambil tetap mencakup seluruh titik layanan.
- Distribusi Geografis – Menyoroti pola penyebaran titik pengantaran dalam setiap rute untuk meminimalisasi pengulangan jalur.
- Biaya dan Alokasi Sumber Daya – Mengevaluasi bagaimana pemilihan rute memengaruhi waktu pengiriman, konsumsi bahan bakar, dan total biaya operasional.

3.2. Hasil Optimasi Rute

Hasil optimasi rute dalam penelitian ini diperoleh melalui pemanfaatan algoritma ACO yang terintegrasi dengan platform ORS. Setiap strategi optimasi diterapkan pada jaringan titik distribusi milik PT Pos Indonesia wilayah Boyolali, dengan parameter yang mencerminkan kondisi operasional nyata seperti kapasitas kendaraan, struktur jalur, serta estimasi biaya pengiriman. Tiga strategi optimasi—Pendekatan Penjumlahan Tertimbang, Minimisasi Jarak Serakah, dan Rute Optimal Tunggal—diterapkan untuk menghasilkan rute terbaik berdasarkan kriteria efisiensi jarak, waktu, dan biaya. ORS digunakan untuk memvisualisasikan hasil perhitungan rute dalam bentuk peta digital interaktif, yang memungkinkan interpretasi spasial dari setiap strategi.

Setiap rute yang dihasilkan disertai informasi tentang urutan pengantaran, total jarak tempuh, serta estimasi total biaya operasional. Visualisasi ini memberikan gambaran komprehensif tentang perbedaan performa antar strategi optimasi, baik dari segi efisiensi rute maupun distribusi geografis titik pengiriman. Bagian ini menyajikan masing-masing rute hasil optimasi secara terpisah disertai analisis numerik dan interpretasi visual untuk memperkuat pemahaman atas keunggulan dan keterbatasan tiap pendekatan.



Gambar 3. Rute Teroptimasi dengan Pendekatan Penjumlahan Tertimbang

Gambar 3 menunjukkan rute hasil optimasi menggunakan metode Weighted Sum, yang menyeimbangkan antara jarak dan biaya. Rute optimal mengikuti urutan: [1 → 3 → 4 → 5 → 7 → 11 → 2 → 15 → 18 → 19 → 12 → 13 → 9 → 10 → 8 → 14 → 17 → 6 → 16 → 1], dengan total jarak tempuh 92,30 km dan total biaya Rp 2.396.941,53.



Gambar 4. Rute Teroptimasi dengan Greedy Distance Minimisation

Gambar 4 menampilkan strategi Greedy Distance Minimisation, yang hanya memprioritaskan jarak terpendek tanpa mempertimbangkan efisiensi biaya. Rute yang dihasilkan: [1 → 7 → 11 → 2 → 15 → 14 → 9 → 10 → 12 → 19 → 17 → 5 → 4 → 3 → 16 → 8 → 6 → 18 → 13 → 1], menempuh jarak 149,77 km, dengan biaya total yang jauh lebih tinggi yaitu Rp 7.431.743,88.



Gambar 5. Rute Teroptimasi dengan Rute Optimal Tunggal

Gambar 5 menggambarkan strategi Single Optimal Route, yaitu pendekatan deterministik alternatif. Rute yang dihasilkan: [1 → 16 → 6 → 17 → 14 → 8 → 9 → 13 → 10 → 12 → 19 → 18 → 15 → 2 → 11 → 7 → 5 → 4 → 3 → 1], memiliki total jarak 91,74 km dengan biaya Rp 2.687.903,22.

Setiap rute divisualisasikan dengan warna dan penanda berbeda untuk menunjukkan perbandingan strategi secara spasial. Pendekatan *Weighted Sum* berupaya menyeimbangkan jarak dan biaya, sedangkan *Greedy Distance Minimisation* memfokuskan pada jarak tempuh paling pendek. Adapun metode *Single Optimal Route* merepresentasikan rute deterministik alternatif berbasis efisiensi waktu dan beban. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi ORS tidak hanya meningkatkan akurasi rute dengan mempertimbangkan jaringan jalan nyata, tetapi juga menyediakan umpan balik visual yang penting untuk pengambilan keputusan operasional. Di antara ketiga pendekatan yang diuji, Pendekatan *Weighted Sum* terbukti memberikan solusi paling seimbang dalam konteks efisiensi operasional dan penghematan biaya. Visualisasi spasial berbasis ORS ini memperkuat interpretasi hasil optimasi VRP dan memperkaya analisis strategis dalam pengelolaan distribusi logistik, khususnya untuk pengiriman tahap akhir (*last-mile delivery*) di wilayah regional.

Untuk memperjelas perbedaan antar strategi, Tabel 1 menyajikan ringkasan perbandingan performa dari ketiga pendekatan yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 1. Perbandingan Efisiensi Tiga Strategi Optimasi Rute

Strategi	Total Jarak (km)	Total Biaya (Rp)	Efisiensi Visual	Stabilitas (Deviasi Std)
Weighted Sum	92,30	2.396.941,53	Tinggi	±2,1 km
Greedy Distance	149,77	7.431.743,88	Rendah	±4,5 km
Single Optimal	91,74	2.687.903,22	Sedang	±2,8 km

3.3. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu dicatat. Pertama, studi kasus difokuskan pada satu wilayah distribusi (Boyolali) sehingga generalisasi hasil ke konteks geografis lain memerlukan validasi tambahan. Kedua, parameter algoritma ACO yang digunakan bersifat statis dan belum dioptimasi lebih lanjut. Ketiga, integrasi ORS belum mempertimbangkan pembatasan waktu layanan (*time windows*) atau kapasitas kendaraan berbeda. Keterbatasan ini menjadi dasar penting untuk penelitian lanjutan.

4. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengintegrasikan algoritma optimasi rute berbasis *Vehicle Routing Problem* (VRP) dengan layanan *OpenRouteService* (ORS) dalam lingkungan MATLAB untuk menghasilkan visualisasi spasial yang representatif. Tiga strategi optimasi—*Weighted Sum Approach*, *Greedy Distance Minimisation*, dan *Single Optimal Route*—telah diimplementasikan dan dibandingkan berdasarkan total jarak tempuh, biaya operasional, serta distribusi geografis titik layanan.

Visualisasi hasil optimasi dengan ORS memungkinkan interpretasi yang lebih intuitif terhadap efisiensi rute dan kinerja strategi yang digunakan. Dari hasil perbandingan, pendekatan *Weighted Sum* menunjukkan performa paling seimbang antara efisiensi jarak dan biaya operasional, menjadikannya pilihan strategis untuk skenario distribusi logistik seperti pada PT Pos Indonesia wilayah Boyolali.

Selain itu, penggunaan ORS sebagai alat bantu pemetaan berbasis API menunjukkan potensi yang signifikan untuk mendukung pengambilan keputusan logistik, khususnya dalam konteks *last-mile delivery* yang membutuhkan presisi rute dan efisiensi sumber daya. Implementasi sistem ini dapat diperluas untuk mendukung skenario multi-kendaraan dan waktu terbatas (*time windows*) sebagai pengembangan lanjutan. Dengan demikian, integrasi antara metode optimasi dan sistem pemetaan real-time berbasis ORS terbukti efektif dalam meningkatkan transparansi hasil dan akurasi spasial dalam sistem distribusi logistik modern.

Untuk pengembangan ke depan, beberapa aspek yang dapat ditingkatkan antara lain: Pengujian pada skala geografis lebih luas dengan data real-time. Integrasi dengan data trafik dan kondisi jalan aktual. Implementasi *time windows* dan kendaraan multi-kapasitas. Evaluasi sistem dalam konteks logistik perkotaan dengan hambatan nyata seperti zona larangan atau waktu buka-tutup akses.

Ucapan Terimakasih

Terima kasih kepada Fakultas Teknik Universitas Suryakencana dan Fakultas Teknik Informatika Universitas Adhirajasa Reswara Sanjaya yang telah menjadi wadah bagi para peneliti untuk mengembangkan penelitian jurnal ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang besar bagi kemajuan ilmu pengetahuan di Indonesia.

Referensi

- [1] P. Toth and D. Vigo, "An Overview of Vehicle Routing Problems," in *The Vehicle Routing Problem*, Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002, pp. 1–26.
- [2] S. Wang, F. Tao, Y. Shi, and H. Wen, "Optimization of Vehicle Routing Problem with Time Windows for Cold Chain Logistics Based on Carbon Tax," *Sustainability*, vol. 9, no. 5, p. 694, Apr. 2017, doi: 10.3390/su9050694.
- [3] P. Lou, Z. Zhou, Y. Zeng, and C. Fan, "Vehicle routing problem with time windows and carbon emissions: a case study in logistics

- distribution," *Environ. Sci. Pollut. Res.*, vol. 31, no. 29, pp. 41600–41620, Feb. 2024, doi: 10.1007/s11356-024-31927-9.
- [4] K. Danach, L. Saker, and H. Harb, "Integrating Metaheuristics and Machine Learning for Enhanced Vehicle Routing: A Comparative Study of Hyperheuristic and VAE-Based Approaches," *World Electr. Veh. J.*, vol. 16, no. 5, p. 258, May 2025, doi: 10.3390/wevj16050258.
- [5] M. EL YADARI, F. JAWAB, and I. MOUFAD, "A Supervised Learning and Metaheuristic Approach for Energy-Efficient Vehicle Routing Problem: Model Development and Empirical Case Validation." 2024, doi: 10.2139/ssrn.5072833.
- [6] J. Vinuesa-Martinez, M. Correa-Peralta, R. Ramirez-Anormaliza, O. Franco Arias, and D. Vera Paredes, "Geographic Information Systems (GISs) Based on WebGIS Architecture: Bibliometric Analysis of the Current Status and Research Trends," *Sustainability*, vol. 16, no. 15, p. 6439, Jul. 2024, doi: 10.3390/su16156439.
- [7] Heidelberg Institute for Geoinformation Technology (HeiGIT), "OpenRouteService (Version 9.1.1)," 2024. <https://openrouteservice.org> (accessed Jun. 23, 2025).
- [8] X. dong Chen and G. Kalra, "Research on regional spatial logistics information integration method based on big data," *Int. J. Inf. Technol. Manag.*, vol. 20, no. 3, p. 234, 2021, doi: 10.1504/IJITM.2021.116049.
- [9] M. Ary, "Optimasi Vehicle Routing Problem Pada Rute Pendistribusian Menggunakan Metode Ant Colony Optimization," *J. Tekno Insentif*, vol. 16, no. 2, pp. 139–149, Dec. 2022, doi: 10.36787/jti.v16i2.897.
- [10] H. Ishibuchi, N. Akedo, H. Ohyanagi, and Y. Nojima, "Behavior of EMO algorithms on many-objective optimization problems with correlated objectives," *2011 IEEE Congr. Evol. Comput. CEC 2011*, no. 20300084, pp. 1465–1472, 2011, doi: 10.1109/CEC.2011.5949788.
- [11] P. Toth and D. Vigo, "An Overview of Vehicle Routing Problems," in *The Vehicle Routing Problem*, vol. 2007-Janua, P. Toth and D. Vigo, Eds. Philadelphia, PA, USA: Society for Industrial and Applied Mathematics, 2002, pp. 1–26.
- [12] M. Dorigo and G. Di Caro, "Ant colony optimization: A new meta-heuristic," in *Proceedings of the 1999 Congress on Evolutionary Computation, CEC 1999*, 1999, vol. 2, pp. 1470–1477, doi: 10.1109/CEC.1999.782657.
- [13] J. Jo and K.-W. Lee, "High-Performance Geospatial Big Data Processing System Based on MapReduce," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 7, no. 10, p. 399, Oct. 2018, doi: 10.3390/ijgi7100399.
- [14] S. H. Huang, Y. H. Huang, H. C. Lee, and Y. Y. Tong, "A new hybrid algorithm for solving the vehicle routing problem with route balancing," *Int. J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 14, no. 1, pp. 51–62, 2023, doi: 10.24867/IJIEEM-2023-1-324.
- [15] E. Osaba, X.-S. Yang, F. Diaz, P. Lopez-Garcia, and R. Carballo, "An improved discrete bat algorithm for symmetric and asymmetric Traveling Salesman Problems," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 48, pp. 59–71, Feb. 2016, doi: 10.1016/j.engappai.2015.10.006.
- [16] G. Srivastava, A. Singh, and R. Mallipeddi, "NSGA-II with objective-specific variation operators for multiobjective vehicle routing problem with time windows," *Expert Syst. Appl.*, vol. 176, p. 114779, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2021.114779.