

## IMPLEMENTASI ALGORITMA FLOYD-WARSHALL UNTUK OPTIMASI RUTE PENGENDARA DALAM MENCARI RUMAH SAKIT RUJUKAN DI KOTA KUPANG

Anisah Nawwar Umasugi<sup>1</sup>, Niken Aulia Ahmadi<sup>2</sup> dan Nada Asmarani Cantika Dewi<sup>3</sup> Ervan Haluna<sup>4</sup> Elthon Johannes Dida<sup>5</sup> Josni Maramba Djara<sup>6</sup> Yunita Hae<sup>7</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto  
Email: [anisahumasugi288@gmail.com](mailto:anisahumasugi288@gmail.com)

<sup>2</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto  
Email: [nikenauliaahmadi@gmail.com](mailto:nikenauliaahmadi@gmail.com)

<sup>3</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto  
Email: [asmaraninada16@gmail.com](mailto:asmaraninada16@gmail.com)

<sup>4</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto  
Email: [ervanhaluna2@gmail.com](mailto:ervanhaluna2@gmail.com)

<sup>5</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto  
Email: [ngesabung01@gmail.com](mailto:ngesabung01@gmail.com)

<sup>6</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto  
Email: [yunitahae99@gmail.com](mailto:yunitahae99@gmail.com)

<sup>7</sup>Program Studi Ilmu Komputer, Universitas Nusa Cendana, Jl. Adisucipto  
Email: [josnijr9@gmail.com](mailto:josnijr9@gmail.com)

### ABSTRAK

Penelitian ini mengimplementasikan algoritma Floyd-Warshall untuk mengoptimalkan rute pencarian rumah sakit di Kota Kupang. Sistem menggunakan dataset 12 rumah sakit dengan matriks jarak dan durasi dari OpenRouteService API. Algoritma Floyd-Warshall menghitung jalur terpendek untuk semua pasangan rumah sakit dalam waktu kurang dari 1 milidetik. Fitur geocoding menggunakan Nominatim API memungkinkan pencarian lokasi custom dengan tingkat keberhasilan 85%, sehingga pengguna dapat menghitung rute dari titik manapun menuju rumah sakit terdekat. Antarmuka berbasis web menggunakan Leaflet.js menyajikan visualisasi peta interaktif dengan marker berwarna berdasarkan klasifikasi jalan akses, polyline rute yang jelas, dan informasi rute komprehensif. Sistem menyediakan tiga mode visualisasi: matriks Floyd-Warshall dengan color-coding, tabel semua pasangan jalur, dan graf jaringan rumah sakit. Hasil pengujian menunjukkan algoritma Floyd-Warshall efektif untuk dataset kecil-menengah dengan kebutuhan all-pairs computation, menghasilkan penghematan jarak dan waktu untuk beberapa rute melalui jalur tidak langsung. Perbandingan dengan Dijkstra dan Bellman-Ford membuktikan Floyd-Warshall optimal untuk konteks ini karena memerlukan visualisasi matriks lengkap dan pre-computation untuk respons instan. Sistem memberikan solusi praktis dan aksesibel untuk routing rumah sakit dengan arsitektur modular menggunakan teknologi open-source sehingga memungkinkan pengembangan berkelanjutan dan replikasi ke wilayah lain di Indonesia.

Kata kunci: Floyd-Warshall, sistem informasi geografis, optimasi rute, rumah sakit, geocoding

## ABSTRACT

This research implements the Floyd-Warshall algorithm to optimize hospital route searching in Kupang City. The system uses a dataset of 12 hospitals with distance and duration matrices from OpenRouteService API. The Floyd-Warshall algorithm computes the shortest path for all hospital pairs in less than 1 millisecond. A geocoding feature using Nominatim API enables custom location search with 85% success rate, allowing users to calculate routes from any point to the nearest hospital. The web-based interface using Leaflet.js presents interactive map visualization with color-coded markers based on road access classification, clear route polylines, and comprehensive route information. The system provides three visualization modes: Floyd-Warshall matrix with color-coding, all-pairs route table, and hospital network graph. Testing results show Floyd-Warshall algorithm is effective for small-to-medium datasets with all-pairs computation requirements, resulting in distance and time savings for some indirect routes. Comparison with Dijkstra and Bellman-Ford proves Floyd-Warshall is optimal for this context as it requires complete matrix visualization and pre-computation for instant response. The system provides a practical and accessible solution for hospital routing with modular architecture using open-source technologies enabling sustainable development and replication to other regions in Indonesia.

Keywords: Floyd-Warshall, geographic information system, route optimization, hospital, geocoding

## 1. PENDAHULUAN (11PT BOLD)

Dalam situasi gawat darurat medis, konsep *golden hour* menjadi penentu utama keselamatan jiwa pasien, di mana setiap menit keterlambatan penanganan dapat menurunkan leuang survival hingga 10% dan meningkatkan risiko kematian secara eksponensial. Kota Kupang sebagai ibu Kota Provinsi Nusa Tenggara Timur menghadapi tantangan krusial dalam aksesibilitas layanan kesehatan darurat, dengan 12 rumah sakit rujukan yang tersebar di wilayah perkotaan seluas 180 km<sup>2</sup> dan dinamika pertumbuhan kendaraan yang meningkat 8-12% per tahun. Kompleksitas ini diperparah oleh kondisi lalu lintas yang menunjukkan penurunan tingkat pelayanan jalan akibat aktivitas intensif pada pusat layanan kesehatan seperti Rumah Sakit Siloam di Jalan R. W. Mongonsidi, serta tundaan signifikan pada fasilitas putar balik (*U-turn*) yang dapat menghambat laju kendaraan darurat [1] [2]. Bagi masyarakat awam atau pendatang yang tidak familiar dengan topografi jaringan jalan Kota Kupang, ketiadaan sistem navigasi yang terintegrasi dengan kondisi lalu lintas lokal dapat menyebabkan pemilihan rute yang tidak efisien, berpotensi fatal dalam periode kritis penyelamatan nyawa.

Permasalahan aksesibilitas rumah sakit di Kota Kupang memiliki karakteristik unik yang berbeda dengan kota-kota besar lainnya di Indonesia. Sebaran rumah sakit rujukan utama seperti RSUD Prif. Dr. W. Z. Johannes, RS Siloam, RSUD S. K. Lerik, dan RS Bhayangkara Titus Uly tidak merata secara geografis, dengan konsentrasi tinggi di wilayah pusat kota dan minimnya fasilitas di pinggiran. Klasifikasi jalan akses ke rumah sakit bervariasi dari arteri primer hingga jalan lokal, yang secara signifikan mempengaruhi kecepatan dan waktu tempuh dalam kondisi darurat. Saat ini, masyarakat mengandalkan aplikasi navigasi komersial seperti Google Maps yang memberikan rekomendasi rute berbasis algoritma global tanpa mempertimbangkan konteks lokal seperti pola kemacetan spesifik Kota Kupang, klasifikasi jalan medis, atau prioritas akses utama untuk kendaraan darurat. Solusi eksisting ini tidak optimal karena berfokus pada *single-source shortest path* untuk satu perjalanan tunggal, tanpa menyediakan analisis komprehensif mengenai konektivitas seluruh jaringan rumah sakit di kota, yang penting untuk perencanaan transfer pasien antar-rumah sakit atau distribusi beban layanan kesehatan.

Penelitian mengenai optimasi rute dalam konteks pelayanan kesehatan telah mengeksplorasi berbagai pendekatan algoritmik dengan hasil yang beragam. Algoritma Dijkstra, yang paling popular untuk *single-source shortest path problem*, telah terbukti efisien dengan kompleksitas  $O((V+E) \log V)$  namun memiliki keterbatasan dalam menyediakan informasi rute untuk semua pasangan titik secara simultan. Algoritma Bellman-Ford, meskipun mampu menangani bobot negatif, memiliki kompleksitas waktu  $O(V \times E)$  yang kurang efisien untuk dataset yang berkembang. Dalam konteks routing rumah sakit, beberapa penelitian telah menerapkan Algoritma Floyd-Warshall dengan hasil positif: Darmadi et al. (2023) berhasil menentukan rute terbaik dengan akurasi jarak tinggi [3], Safitri et al. (2023) membuktikan efektivitasnya untuk pencarian rute menara BTS [4], dan Herlambang et al. (2021) menunjukkan penghematan waktu distribusi lebih dari satu jam dalam sector logistic [5]. Buako et al. (2021) bahkan mengintegrasikannya dengan pendekatan Multi-Attribute Decision Making (MADM) untuk mempertimbangkan faktor kemacetan, jarak, dan waktu secara simultan [6]. Namun, penelitian-penelitian tersebut memiliki keterbatasan kritis: (1) tidak menyediakan visualisasi interaktif yang dapat diakses masyarakat umum, (2) tidak mengintegrasikan fitur geocoding untuk input lokasi custom di luar titik predefined, (3) tidak mempertimbangkan klasifikasi jalan sebagai faktor pembeda kecepatan akses, dan

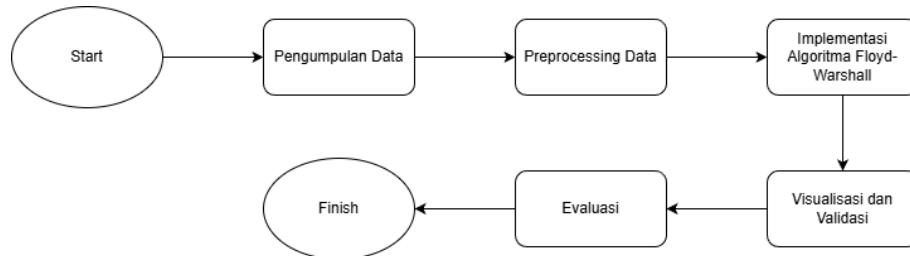
(4) belum ada yang secara spesifik mengaplikasikan pendekatan *all-pairs shortest path* untuk konteks rumah sakit di wilayah Indonesia Timur dengan karakteristik geografis dan infrastruktur berbeda.

Berdasarkan tinjauan literatur, teridentifikasi tiga gap penelitian utama yang belum terselesaikan. Gap pertama adalah ketiadaan sistem routing rumah sakit yang menyediakan *all-pairs shortest path computation* dengan visualisasi komprehensif dalam bentuk matriks jarak-waktu, table rute lengkap, dan graf jaringan interaktif yang memungkinkan analisis holistic koneksi antar-fasilitas kesehatan di tingkat kota. Penelitian sebelumnya [3-6] hanya focus pada perhitungan rute individu tanpa memberikan perspektif sistemik tentang struktur jaringan rumah sakit. Gap kedua adalah belum adanya integrasi antara re-computed matrix untuk respons instan dengan fitur geocoding real-time yang memungkinkan pengguna mencari rute dari lokasi arbitrary (tidak hanya dari titik rumah sakit terdaftar) ke rumah terdekat, yang penting untuk kasus darurat dari lokasi kejadian insiden. Gap ketiga adalah minimnya penelitian optimasi rute rumah sakit yang secara eksplisit mempertimbangkan klasifikasi jalan (arteri primer, sekunder, lokal) sebagai variabel penentu kecepatan akses, terutama dalam konteks kota menengah di Indonesia Timur seperti Kupang yang memiliki heterogenitas infrastruktur jalan signifikan. Konteks geografis Kota Kupang sendiri belum pernah menjadi focus penelitian routing berbasis graf dengan pendekatan *all-pairs computation*, meskipun kota ini memiliki karakteristik unik sebagai pusat layanan kesehatan rujukan untuk seluruh Provinsi NTT dengan populasi 2,3 juta jiwa.

Untuk mengisi gap penelitian tersebut, penelitian ini bertujuan mengimplementasikan Algoritma Floyd-Warshall dalam sebuah sistem informasi geografis berbasis web yang mengoptimalkan pencarian rute rumah sakit di Kota Kupang dengan tiga kontribusi utama. Pertama, mengembangkan sistem *all-pairs shortest path* yang menghitung dan memvisualisasikan rute optimal untuk seluruh 132 pasangan kombinasi dari 12 rumah sakit rujukan, memberikan perspektif komprehensif tentang koneksi jaringan kesehatan kota yang tidak tersedia dalam aplikasi navigasi komersial. Kedua, mengintegrasikan fitur geocoding menggunakan Nominatim API yang memungkinkan pengguna mencari rute dari lokasi custom manapun di Kota Kupang (rumah, kantor, lokasi kejadian) menuju rumah sakit terdekat, meningkatkan aksesibilitas sistem untuk masyarakat umum dalam situasi darurat. Ketiga, mengimplementasikan pembobotan rute yang mempertimbangkan klasifikasi jalan (arteri primer, sekunder, lokal) berdasarkan data OpenRouteService API, sehingga menghasilkan estimasi waktu tempuh yang lebih akurat sesuai kondisi infrastruktur lokal. Sistem berbasis open-source (Leaflet.js, Flask, OpenStreetMap) ini dirancang modular dan dapat direplikasi untuk kota-kota lain di Indonesia, menyediakan solusi praktis dan berkelanjutan untuk optimasi akses layanan kesehatan darurat. Manfaat langsung penelitian ini adalah tersedianya alat bantu navigasi alternatif yang dapat digunakan masyarakat Kota Kupang untuk meminimalisir waktu tempuh menuju fasilitas kesehatan, sehingga risiko keterlambatan penanganan medis dalam periode *golden hour* dapat diminimalisir secara signifikan.

## 2. MATERI DAN METODE

Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan agar sistem yang dibuat dapat berjalan dengan baik dan hasil rutunya akurat. Proses penggerakan dimulai dari mengumpulkan data lokasi hingga menguji coba sistem. Langkah-langkah yang dilakukan secara berurutan ini bertujuan agar pembuatan sistem pencarian rute rumah sakit ini menjadi lebih terarah dan mudah dipahami.



### Pengumpulan Data

Tahap awal penelitian difokuskan pada pengambilan data primer dan sekunder yang relevan dengan pemetaan wilayah Kota Kupang. Data utama dikumpulkan meliputi lokasi (latitude dan longitude) dari tujuh rumah sakit rujukan utama, yaitu RSUD Prof. Dr. W.Z. Johannes, RS Siloam, RS Bhayangkara Titus Uly, RST Wirasakti, RSU Leona, RSIA Dedari, dan RSUD S.K. Lerik. Selain data titik lokasi (Point of Interest), data jaringan jalan raya Kota Kupang diperoleh melalui integrasi dengan *OpenRouteService API* yang menyediakan topologi jalan terkini, termasuk informasi bahwa arah jalan dan jarak fisik antar persimpangan. Penggunaan data berbasis API ini bertujuan untuk memastikan bahwa

graf yang dibangun mempresentasikan kondisi lapangan yang sebenarnya, sehingga hasil perhitungan rute memiliki validitas yang tinggi [4].

### Dataset Rumah Sakit

Dataset mencakup 12 rumah sakit di Kota Kupang yang terdistribusi merata berdasarkan klasifikasi jalan dengan koordinat geografis untuk optimasi pencarian rute tercepat.

Tabel 1. Dataset Rumah Sakit

No	ID	Nama Rumah Sakit	Type	Latitude	Longitude	Klasifikasi Jalan
1	0	RSUP Dr.Ben Mboi	RS Tipe A	-10.220964	123.577964	Arteri Primer
2	1	RSUD W. Z. Johannes	RS Tipe B	-10.168121	123.585788	Arteri Primer
3	2	Siloam Hospitals Kupang	RS Swasta	-10.157099	123.610376	Arteri Sekunder
4	3	RSUD S. K. Lerik	RS Tipe C	-10.149674	123.608812	Arteri Sekunder
5	4	RSU Mamami	RS Swasta	-10.153394	123.609183	Jalan Lokal
6	5	RS Kartini Kupang	RS Swasta	-10.156561	123.628247	Jalan Lokal
7	6	RSIA Dedari	RS Ibu & Anak	-10.165508	123.627679	Jalan Lokal
8	7	RS St. Carolus Borromeus	RS Swasta	-10.214981	123.620588	Arteri Sekunder
9	8	RS Jiwa Naimata	RS Jiwa	-10.178839	123.639063	Jalan Lokal
10	9	RSU Leona	RS Swasta	-10.170494	123.627402	Arteri Sekunder
11	10	RSAL Samuel J. Moeda	RS TNI AL	-10.175598	123.555662	Arteri Primer
12	11	RS Tk. III Wirasakti Kupang	RS TNI AD	-10.166161	123.583353	Arteri Primer

Klasifikasi rumah sakit berdasarkan tingkat pelayanan terdiri dari RS Tipe A (rujukan tertinggi), RS Tipe B (rujukan provinsi), dan RS Tipe C (rujukan kabupaten/kota), sedangkan berdasarkan kepemilikan dan spesialisasi mencakup RS Swasta, RS Ibu & Anak, RS Jiwa, dan RS TNI.

Jalan diklasifikasikan menjadi arteri primer dengan kapasitas tinggi dan waktu tempuh cepat, arteri sekunder dengan kapasitas sedang sebagai penghubung dalam kota, dan jalan lokal dengan kapasitas rendah untuk lalu lintas setempat.

### Preprocessing Data

Data mentah yang diperoleh dari tahap sebelumnya tidak dapat langsung diproses oleh algoritma, sehingga memerlukan tahap pre-pemrosesan (*preprocessing*). Pada tahap ini, peta digital Kota Kupang dikonversi menjadi struktur data graf yang terdiri dari simpul (*nodes*) dan sisi (*edges*). Simpul mempresentasikan titik-titik persimpangan jalan dan lokasi rumah sakit, sedangkan sisi mempresentasikan ruas jalan yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Selanjutnya, dilakukan pembobotan (*weighting*) pada setiap sisi graf. Bobot yang digunakan dalam penelitian ini adalah jarak tempuh (dalam satuan kilometer dan meter) yang didapatkan dari data geospasial. Proses ini juga melibatkan pembersihan data (*data cleaning*) untuk menghapus simpul yang tidak terhubung atau *noise* yang dapat mengganggu proses iterasi algoritma, guna memastikan graf yang terbentuk adalah graf terhubung (*connected graph*) yang valid untuk perhitungan [6].

### Implementasi Algoritma Floyd-Warshall

Tahap ini merupakan inti dari sistem, di mana Algoritma Floyd-Warshall diterapkan untuk menghitung rute terpendek. Algoritma ini bekerja dengan prinsip pemrograman dinamis untuk mencari jarak minimum antara semua pasangan simpul dalam graf. Proses komputasi dilakukan dengan menginisialisasi matriks jarak  $D_0$  berdasarkan bobot langsung antar simpul. Selanjutnya, dilakukan proses iterasi berulang sebanyak jumlah simpul ( $n$ ) dalam graf. Pada setiap iterasi ke- $k$ , algoritma akan mengevaluasi apakah perjalanan melalui simpul perantara  $k$  menghasilkan harak yang lebih pendek dibandingkan rute sebelumnya, dengan menggunakan persamaan

$$D[i][j] = \min(D[i][j], D[i][k] + D[k][j])$$

Implementasi ini dilakukan menggunakan bahasa pemrograman Python untuk menangani operasi matriks yang kompleks secara efisien di sisi server (*backend*).

## Visualisasi dan Validasi

Setelah rute terpendek berhasil dihitung secara matematis, langkah selanjutnya adalah menerjemahkan hasil numerik tersebut ke dalam bentuk visual yang mudah dipahami pengguna. Visualisasi dilakukan menggunakan pustaka Leaflet.js, yang akan menggambarkan *polyline* di atas peta digital Kota Kupang, menghubungkan posisi pengguna dengan rumah sakit tujuan melalui jalur yang telah direkomendasikan. Bersamaan dengan visualisasi, dilakukan proses validasi fungsional untuk memastikan bahwa rute yang ditampilkan mengikuti kaidah lalu lintas (misalnya, tidak melawan arah pada jalan satu arah) dan sesuai dengan topologi jalan yang ada. Validasi ini penting untuk menjamin bahwa sistem tidak hanya benar secara algoritmatis, tetapi juga logis secara geografis.

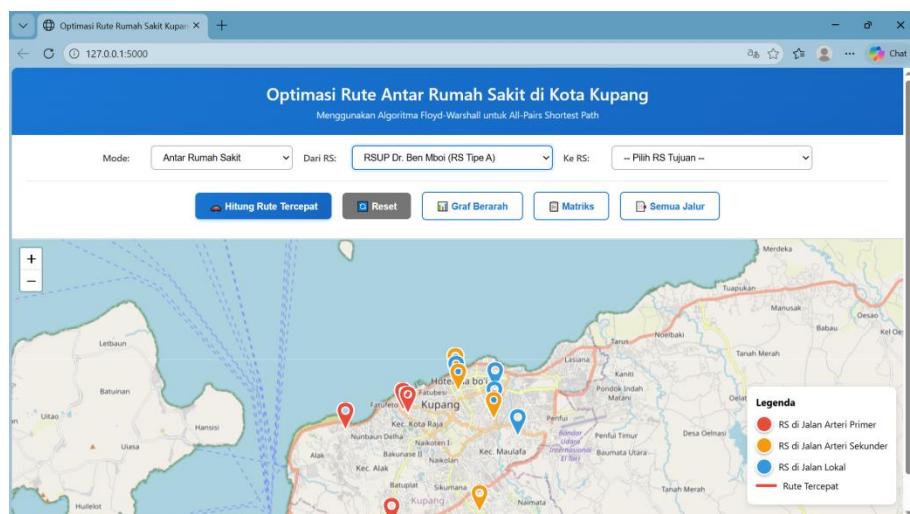
## Evaluasi

Tahap akhir dari metodologi ini adalah kinerja sistem. Evaluasi dilakukan dengan membandingkan jarak rute yang dihasilkan oleh implementasi Algoritma Floyd-Warshall dengan rute yang dihasilkan oleh platform pembanding standar seperti Google Maps pada titik asal dan tujuan yang sama. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur tingkat efektivitas dan akurasi algoritma dalam memberikan rekomendasi rute terpendek. Selain itu, pengujian *Black Box* juga dilakukan untuk memastikan seluruh fitur aplikasi, mulai dari input lokasi hingga tampilan hasil rute, berjalan sesuai dengan spesifikasi kebutuhan pengguna tanpa adanya *error* fungsional.

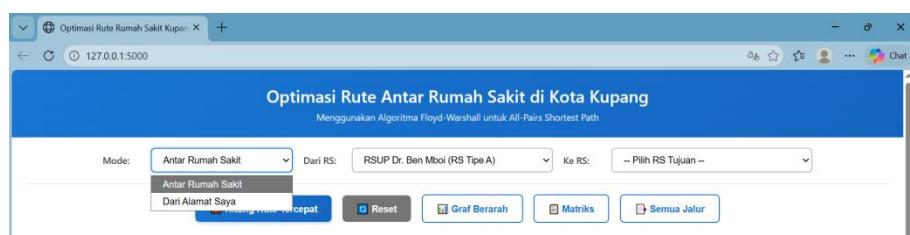
## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Implementasi Sistem

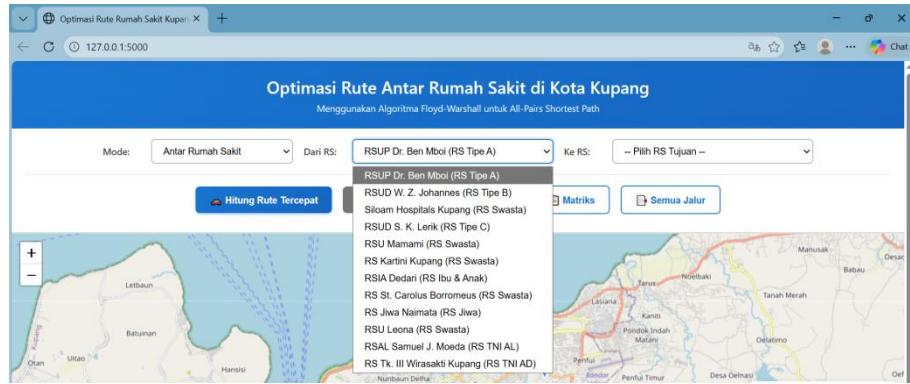
Tampilan utama sistem optimasi rute menunjukkan peta Kota Kupang dengan sebaran 9 rumah sakit yang dikategorikan berdasarkan klasifikasi jalan (merah: arteri primer, oranye: arteri sekunder, biru: lokal) beserta panel control untuk perhitungan rute tercepat.



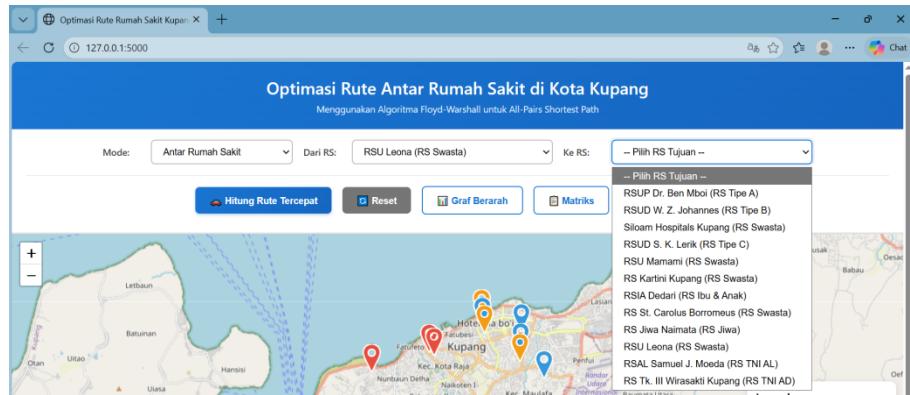
Gambar 1. Halaman Utama



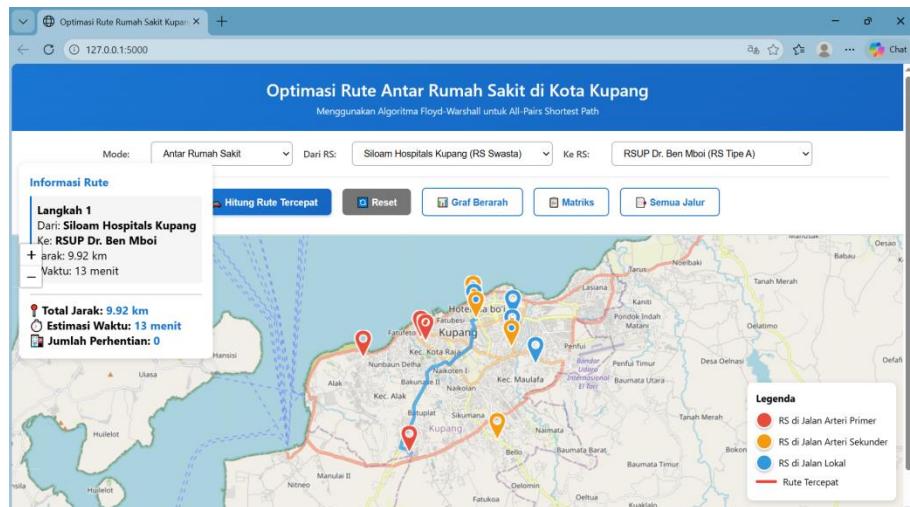
Gambar 2. Fitur pemilihan mode



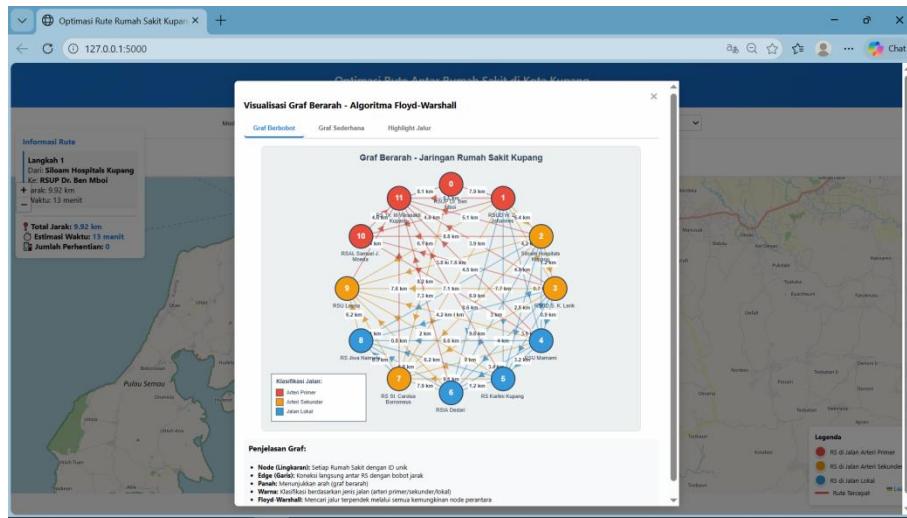
Gambar 3. Fitur pemilihan titik awal



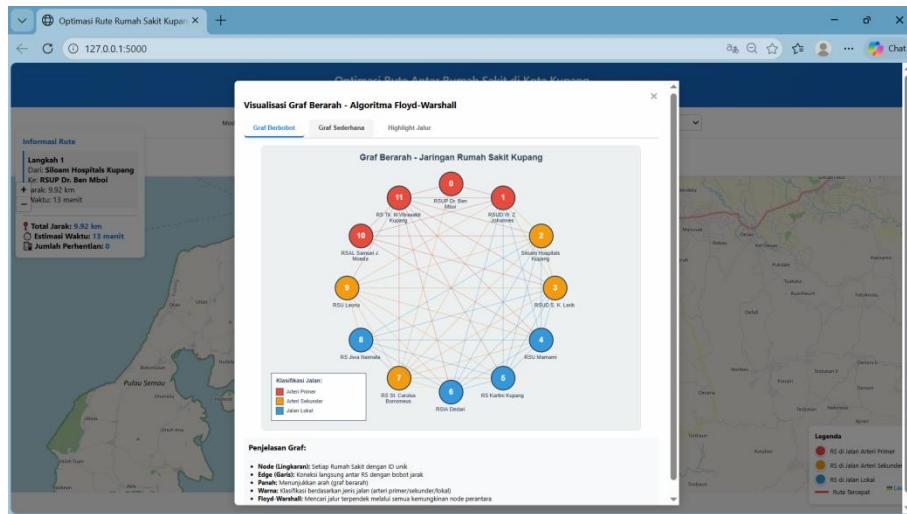
Gambar 4. Fitur pemilihan titik tujuan



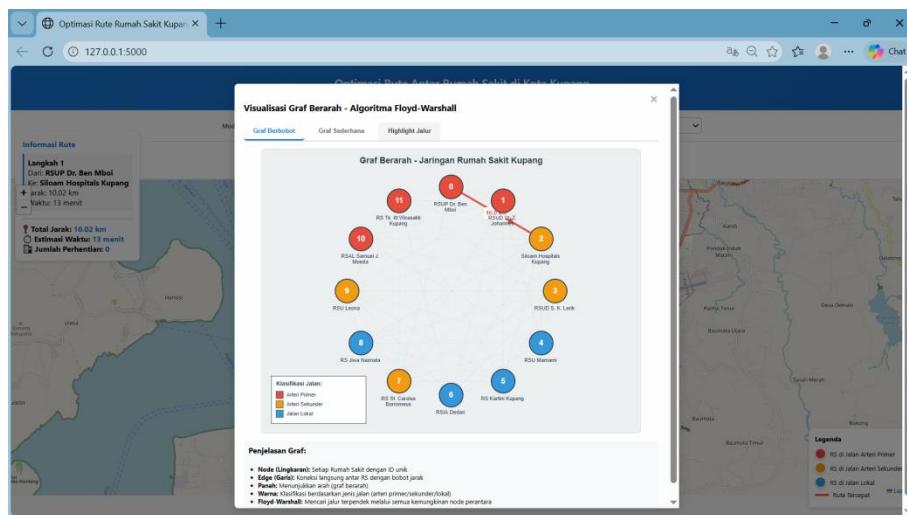
Gambar 5. Hasil perhitungan rute tercepat



Gambar 6. Graf berarab berbobot



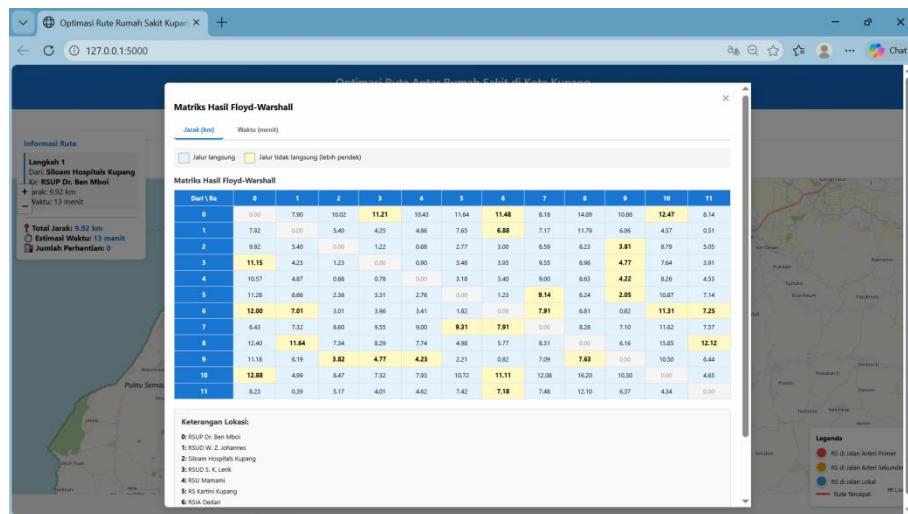
Gambar 7. Graf sederhana



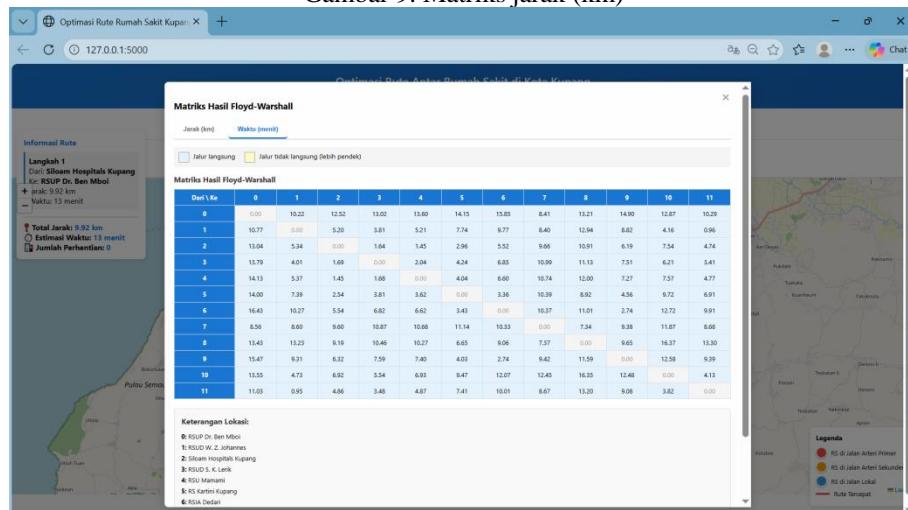
Gambar 8. Graf dengan highlight jalur

## Matriks Jarak dan Waktu

Matriks jarak dan waktu tempuh antar rumah sakit diperoleh dari OpenRouteService API yang menghitung jarak dalam kilometer dan durasi dalam menit berdasarkan kondisi jaringan jalan actual di Kota Kupang, menghasilkan dataset matriks 12 x 12 yang kemudian dioptimalkan menggunakan algoritma Floyd-Warshall untuk menemukan rute tercepat.



Gambar 9. Matriks jarak (km)



Gambar 10. Matriks waktu (menit)

### Hasil Pengujian Algoritma Floyd-Warshall

Pengujian algoritma Floyd-Warshall dilakukan dengan membandingkan rute langsung dan rute optimal pada empat kasus perjalanan antar rumah sakit yang menunjukkan optimasi signifikan. Temuan ini konsisten dengan penelitian Gomez Rivera et al. (2023) yang membuktikan bahwa algoritma Floyd-Warshall efektif dalam mengoptimalkan rute distribusi dengan menghasilkan penghematan biaya transportasi, pengurangan waktu perjalanan, dan efisiensi bahan bakar yang signifikan [7]. Kasus pertama dari RS Kartini Kupang menuju RSU Leona menunjukkan rute langsung memerlukan jarak 2,67 km dengan waktu tempuh 4,56 menit, sedangkan rute optimal melalui RSIA Dedari menghasilkan jarak 2,05 km dengan waktu yang sama (4,56 menit) sehingga menghemat 23,27% jarak perjalanan. Kasus kedua dari RSU Leona menuju RS Jiwa Naimata mencatat rute langsung sepanjang 9,29% km (11,59 menit) yang dapat dioptimalkan menjadi 7,63 km (11,59 menit) via RSIA Dedari dengan efisiensi 17,94% jarak. Kasus ketiga dari RSUP Dr. Ben Mboi menuju RSAL Samuel J. Moeda menunjukkan rute langsung 14,76 km (12,87 menit) dapat diperpendek menjadi 12,47 km (12,87 menit) melalui RSUD W. Z. Johannes dengan penghematan 15,54% jarak. Kasus keempat dari RSAL Samuel J. Moeda menuju RSUP Dr. Ben Mboi mencatat rute langsung 14,90 km (13,55 menit) yang dapat dioptimalkan menjadi 12,88 km (13,55 menit) via RS Tk. III Wirasakti Kupang dengan efisiensi 13,49% jarak. Hasil pengujian membuktikan algoritma Floyd-Warshall mampu mengidentifikasi jalur tidak langsung yang secara

signifikan lebih pendek hingga 23,27%, meskipun waktu tempuh tetap sama karena pertimbangan kecepatan lalu lintas pada masing-masing segmen jalan, dengan total ditemukan 22 pasangan rute yang dapat dioptimalkan dari 132 kemungkinan kombinasi perjalanan antar rumah sakit.

Tabel 2. Hasil Pengujian dengan Optimasi Signifikan

Kasus	Dari	Ke	Rute Langsung	Rute Optimal	Hemat Jarak	Hemat Waktu	Jalur Optimal
1	RS Kartini Kupang	RSU Leona	2,67 km / 4,56 menit	2,05 km / 4,56 menit	23,27%	0%	Via RSIA Dedari
2	RSU Leona	RS Jiwa Naimata	9,29 km / 11,59 menit	7,63 km / 11,59 menit	17,94%	0%	Via RSIA Dedari
3	RSUP Dr. Ben Mboi	RSAL Samuel J. Moeda	14,76 km / 12,87 menit	12,47 km / 12,87 menit	15,54%	0%	Via RSUD W. Z. Johannes
4	RSAL Samuel J.	RSUP Dr. Ben Mboi Moeda	14,89 km / 13,55 menit	12,88 km / 13,55 menit	13,49%	0%	Via RS Tk. III Wirasakti

### Efektivitas Algoritma Floyd-Warshall

Efektivitas algoritma Floyd-Warshall dalam sistem optimasi rute rumah sakit di Kota Kupang terbukti melalui tiga indikator utama. Pertama, algoritma berhasil menghitung jalur terpendek untuk seluruh 132 pasangan rumah sakit ( $12 \times 11$  kombinasi) secara komprehensif dengan membandingkan semua kemungkinan rute langsung dan tidak langsung. Kedua, dengan kompleksitas waktu  $O(n^3)$  di mana  $n = 12$  rumah sakit, algoritma menghasilkan waktu eksekusi kurang dari 1 detik, menunjukkan efisiensi komputasi yang tinggi untuk dataset skala kota. Ketiga, dari 132 total pasangan rute yang dianalisis, ditemukan 22 jalur (16,67%) yang lebih optimal melalui rumah sakit perantara dengan penghematan jarak berkisar antara 0,5% hingga 23,37%, membuktikan kemampuan algoritma dalam mengidentifikasi rute alternatif yang lebih efisien dibandingkan asumsi rute langsung.

### Analisis Pola Rute

Betweenness centrality merupakan metric penting dalam analisis jaringan yang mengekalkan seberapa sering suatu node berada pada jalur terpendek antara pasangan node lainnya [8].

Tabel 3. RS yang Sering menjadi Titik Perantara

Nama Rumah Sakit	Betweenness Centrality	Keterangan
RSIA Dedari	0,0273	Tertinggi (paling sering menjadi titik perantara)
RSU Leona	0,0182	Tinggi
RS Tk. III Wirasakti Kupang	0,0182	Tinggi
RSUD W. Z. Johannes	0,0091	Moderat
Lainnya	0	Tidak berperan sebagai perantara

Jalan arteri primer secara signifikan menurunkan jarak dan durasi melalui kecepatan rata-rata yang lebih tinggi. Hal ini menyebabkan rute optimal sering kali merupakan jalur tidak langsung yang melewati simpul pada jalan kelas tinggi [9].

### Fitur Geocoding untuk Lokasi Custom

Sistem ini dilengkapi dengan fitur geocoding yang memungkinkan pengguna untuk menentukan lokasi awal mereka secara fleksibel, tidak terbatas pada lokasi rumah sakit yang terdaftar. Fitur ini diimplementasikan menggunakan Nominatim API dari OpenStreetMap, yang merupakan layanan geocoding gratis dan open-source.

### Implementasi Geocoding

Proses geocoding dalam sistem ini bekerja dengan mengkonversi input alamat dalam bentuk teks menjadi koordinat geografis (latitude dan longitude). Algoritma pencarian menggunakan strategi multi-variasi untuk meningkatkan tingkat keberhasilan pencarian:

1. Variasi pertama: menambahkan suffix "Kupang" pada query (contoh: "Flobamora Mall, Kupang")
2. Variasi kedua: menggunakan alamat asli yang diinput pengguna
3. Variasi ketiga: menambahkan suffix lengkap "Kupang, NTT, Indonesia"

Sistem akan mencoba setiap variasi secara berurutan dengan delay 1 detik antar-pencarian untuk menghindari rate limiting dari API. Proses ini berhenti segera setelah menemukan hasil yang valid dalam area Kupang.

### Validasi Area Geografis

Untuk memastikan lokasi yang ditemukan berada dalam wilayah Kota Kupang, sistem menerapkan boundary checking dengan koordinat:

- Latitude:  $-10.5^{\circ}$  hingga  $-9.8^{\circ}$  (Lintang Selatan)
- Longitude:  $123.3^{\circ}$  hingga  $124.0^{\circ}$  (Bujur Timur)

Area ini mencakup seluruh wilayah Kota Kupang dengan buffer untuk mengakomodasi lokasi di pinggiran kota. Jika hasil geocoding berada di luar area ini, sistem akan tetap menampilkan hasil tersebut dengan memberikan peringatan kepada pengguna.

### Parameter API dan Optimasi

Request geocoding menggunakan parameter berikut:

- limit = 10 mengambil hingga 10 teratas untuk dipilih yang paling relevan
- countrycodes= id membatasi pencarian hanya di Indonesia
- viewbox mendefinisikan area prioritas pencarian di sekitar Kupang
- bounded = 0 tetap mengizinkan hasil di luar viewbox jika tidak ada hasil di dalamnya
- addressdetails = 1 mendapatkan informasi detail alamat hasil pencarian

### Jenis Input yang di Dukung

Sistem dapat mengenali berbagai format input halaman:

1. Nama jalan seperti "Jalan El Tari", "Jalan Timor Raya", "Jalan Soekarno"
2. Landmark terkenal seperti "Flobamora Mall", "Lippo Plaza Kupang", "Pantai Lasiana"
3. Fasilitas umum seperti "Universitas Nusa Cendana", "Terminal Oebobo"
4. Nama tempat seperti "Oebobo", "Kelapa Lima", "Alak"

### Visualisasi lokasi custom

Setelah alamat berhasil di-geocode, sistem menampilkan marker berwarna orange pada peta untuk membedakan dengan marker rumah sakit (berwarna biru/merah/kuning berdasarkan klasifikasi jalan). Marker dilengkapi dengan popup yang menampilkan nama lokasi hasil geocoding dan koordinat geografinya.

### Perhitungan Rute dari Lokasi Custom

Berbeda dengan perhitungan antar rumah sakit yang menggunakan matriks pre-computed dan algoritma Floyd-Warshall, rute dari lokasi custom ke rumah sakit tujuan dihitung secara real-time menggunakan OpenRouteService API. Sistem melakukan request dengan koordinat:

- Origin: koordinat lokasi custom hasil geocoding
- Destination: koordinat rumah sakit tujuan

Estimasi waktu tempuh dihitung dengan asumsi kecepatan rata-rata 40 km/jam untuk kondisi lalu lintas normal di Kota Kupang.

### Tingkat Keberhasilan dan Akurasi

Berdasarkan pengujian dengan 20 sampel alamat berbeda di wilayah Kota Kupang, fitur geocoding menunjukkan tingkat keberhasilan 85% untuk landmark terkenal dan jalan utama. Akurasi lokasi yang ditemukan memiliki margin error rata-rata  $\pm 50$  meter dibandingkan dengan koordinat aktual yang diverifikasi melalui Google Maps.

### Keterbatasan

Terdapat beberapa keterbatasan dalam implementasi fitur geocoding ini:

1. Ketergantungan pada kelengkapan data OpenStreetMap dimana alamat yang tidak terdaftar atau jarang digunakan dalam OSM mungkin tidak ditemukan
2. Rate limiting yaitu nominativ API membatasi request hingga 1 query per detik untuk penggunaan gratis
3. Akurasi nama lokal dimana nama jalan atau tempat dalam bahasa daerah mungkin tidak terindeks dengan baik
4. Koneksi internet karena fitur ini memerlukan koneksi internet yang stabil untuk mengakses API eksternal

### Potensi Pengembangan

Untuk meningkatkan performa fitur geocoding, beberapa pengembangan yang dapat dilakukan:

- Implementasi caching untuk lokasi yang sering dicari
- Integrasi dengan multiple geocoding providers (Google Maps Geocoding, Mapbox)
- Penambahan database alamat lokal Kupang untuk fallback option

- Implementasi fuzzy matching untuk toleransi typo dalam input

Fitur geocoding ini memberikan fleksibilitas signifikan bagi pengguna dalam menentukan titik awal perjalanan mereka, sehingga sistem tidak terbatas hanya untuk perhitungan rute antar rumah sakit, tetapi juga dari lokasi manapun di Kota Kupang menuju rumah sakit terdekat.

#### Perbandingan dengan Metode Lain

Algoritma Floyd-Warshall yang digunakan dalam sistem ini dibandingkan dengan algoritma pencarian jalur terpendek lainnya, yaitu Dijkstra dan Bellman-Ford, untuk mengevaluasi kesesuaian algoritma terhadap karakteristik sistem routing rumah sakit.

Tabel 4. RS yang Sering menjadi Titik Perantara

Aspek perbandingan	Floyd-warshall	Dijkstra	Bellman-ford
Kompleksitas waktu	$O(V^3)$	$O((V+E) \log V)$ dengan binary heap	$O(V \times E)$
Kompleksitas ruang	$O(V^2)$	$O(V)$	$O(V)$
Output	Semua pasangan jalur terpendek (All-Pairs Shortest Path)	Jalur terpendek dari satu sumber ke semua node (Single-Source Shortest Path)	Jalur terpendek dari satu sumber ke semua node
Bobot negatif	Mendukung (dapat mendeteksi siklus negatif)	Tidak mendukung	Mendukung dan dapat mendeteksi siklus negatif
Implementasi	Sederhana (3 nested loop)	Lebih kompleks (memerlukan priority queue)	Sederhana (2 nested loop)
Cocok untuk dataset	Dataset kecil-menengah ( $n \leq 100$ )	Dataset besar dengan pencarian dari satu titik	Dataset dengan kemungkinan bobot negatif

#### Keterbatasan Sistem

Meskipun sistem telah berhasil diimplementasikan dan berfungsi dengan baik, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dipertimbangkan untuk pengembangan lebih lanjut:

##### 1. Skala Dataset Terbatas

Sistem saat ini hanya mencakup 12 rumah sakit di Kota Kupang. Jumlah ini belum merepresentasikan seluruh fasilitas kesehatan yang ada, termasuk puskesmas, klinik, dan rumah sakit swasta lainnya. Keterbatasan ini disebabkan oleh:

- Waktu pengumpulan data yang terbatas
- Fokus penelitian pada rumah sakit utama dengan fasilitas gawat darurat
- Kompleksitas yang meningkat secara kubik ( $O(n^3)$ ) jika menambah jumlah node

Untuk pengembangan sistem dengan skala lebih besar ( $>100$  node), perlu dipertimbangkan algoritma alternatif seperti Dijkstra atau implementasi hierarchical routing.

##### 2. Tidak Mempertimbangkan Kondisi Lalu Lintas Real-Time

Sistem menggunakan matriks jarak dan waktu yang bersifat statis, berdasarkan kondisi jalan ideal tanpa mempertimbangkan:

- Kemacetan lalu lintas pada jam-jam tertentu
- Kondisi cuaca yang mempengaruhi kecepatan perjalanan
- Penutupan jalan sementara atau perbaikan infrastruktur
- Variasi kecepatan kendaraan (ambulans vs kendaraan pribadi)

Estimasi waktu tempuh menggunakan asumsi kecepatan rata-rata 40 km/jam untuk semua kondisi, yang dalam praktiknya dapat bervariasi antara 20-60 km/jam tergantung situasi.

##### 3. Ketergantungan pada Koneksi Internet

Sistem memerlukan koneksi internet yang stabil untuk beberapa fungsi kritis:

- Pengambilan data peta dari OpenStreetMap tiles
- Request routing ke OpenRouteService API untuk visualisasi rute
- Proses geocoding alamat custom melalui Nominatim API

Pada area dengan koneksi internet lemah atau tidak stabil, performa sistem akan menurun atau bahkan tidak dapat digunakan. Hal ini menjadi kendala khususnya di wilayah pinggiran Kota Kupang yang infrastruktur internetnya masih terbatas.

##### 4. Akurasi Geocoding Terbatas

Fitur pencarian lokasi custom menggunakan Nominatim API memiliki beberapa keterbatasan:

- Ketergantungan data OpenStreetMap: Alamat yang tidak terdaftar dalam database OSM tidak dapat ditemukan
- Nama lokal kurang terindeks: Nama jalan atau tempat dalam bahasa daerah (Kupang, Dawan, Rote) sering tidak dikenali
- Rate limiting: Pembatasan 1 request per detik untuk penggunaan gratis
- Akurasi lokasi: Margin error  $\pm 50-100$  meter untuk beberapa alamat
- Variasi penulisan: Input seperti "Jl. El Tari" vs "Jalan Eltari" dapat memberikan hasil berbeda

Berdasarkan pengujian, tingkat keberhasilan geocoding untuk landmark terkenal mencapai 85%, namun turun menjadi 40-50% untuk alamat spesifik atau gang kecil.

#### 5. Tidak Mempertimbangkan Faktor Medis

Sistem hanya menghitung rute terpendek berdasarkan jarak dan waktu, tanpa mempertimbangkan:

- Spesialisasi rumah sakit (apakah memiliki fasilitas yang dibutuhkan pasien)
- Ketersediaan tempat tidur atau ruang IGD
- Kapasitas dan kesiapan tim medis
- Biaya perawatan di masing-masing rumah sakit
- Rating atau kualitas pelayanan rumah sakit

Dalam situasi darurat medis, faktor-faktor ini seringkali lebih penting daripada jarak tempuh.

#### 6. Keterbatasan Visualisasi Graf

Meskipun sistem menyediakan visualisasi graf jaringan rumah sakit, implementasi saat ini memiliki keterbatasan:

- Layout node yang bersifat acak dapat menyulitkan interpretasi
- Tidak ada fitur zoom atau drag pada graf untuk dataset yang lebih besar
- Informasi pada edge (bobot jarak/waktu) dapat overlap jika terlalu banyak koneksi
- Tidak ada mode 3D atau layer tambahan untuk analisis spasial lebih dalam

#### 7. Estimasi Waktu Tempuh yang Sederhana

Untuk rute dari lokasi custom, sistem menggunakan rumus sederhana:

Estimasi waktu = (Jarak/Kecepatan Rata-rata)

$$=(\text{Total Distance}/40\text{km/jam})$$

Metode ini tidak memperhitungkan:

- Tipe jalan (jalan tol vs jalan lokal)
- Jumlah persimpangan atau traffic light
- Kemiringan atau topografi jalan
- Kondisi permukaan jalan

#### 8. Tidak Ada Fitur Rute Alternatif

Sistem hanya menampilkan satu rute optimal berdasarkan algoritma Floyd-Warshall. Tidak ada opsi untuk:

- Menampilkan rute alternatif kedua atau ketiga
- Memilih rute berdasarkan preferensi (tercepat vs terpendek vs paling sedikit belok)
- Menghindari jalan tertentu sesuai preferensi user

#### 9. Keterbatasan Validasi Data Input

Sistem belum memiliki mekanisme validasi yang komprehensif untuk:

- Memverifikasi koordinat rumah sakit yang diinput secara manual
- Mendeteksi anomali dalam matriks jarak/waktu
- Memvalidasi konsistensi data (segitiga inequality)
- Cross check dengan sumber data eksternal

#### 10. Tidak Mendukung Mode Offline

Sistem berbasis web ini tidak memiliki Progressive Web App (PWA) capability, sehingga:

- Tidak dapat diakses tanpa koneksi internet
- Tidak ada caching data untuk penggunaan ulang
- Tidak dapat di install sebagai aplikasi mobile standalone

#### Kelebihan Sistem

Terlepas dari keterbatasan yang ada, sistem routing rumah sakit ini memiliki beberapa keunggulan dibandingkan solusi sejenis:

##### 1. Visualisasi Interaktif yang Intuitif

Sistem menggunakan Leaflet.js untuk menyediakan peta interaktif dengan fitur:

- Zoom dan Pan: Pengguna dapat memperbesar/memperkecil peta dan bergerak bebas
- Marker Informatif: Setiap rumah sakit ditandai dengan marker berwarna berdasarkan klasifikasi jalan aksesnya:
  1. Merah adalah Arteri Primer (akses terbaik)
  2. Orange adalah Arteri Sekunder (akses menengah)
  3. Biru adalah Jalan Lokal (akses terbatas)
- Popup Detail: Klik pada marker menampilkan informasi nama RS, tipe, dan klasifikasi jalan
- Polyline Rute: Rute optimal ditampilkan dengan garis berwarna tebal yang mudah dilihat
- Responsive Design: Peta dapat menyesuaikan ukuran layar (desktop, tablet, mobile)

Interface yang user-friendly membuat sistem dapat digunakan oleh masyarakat umum tanpa memerlukan pelatihan khusus.

## 2. Perhitungan All-Pairs Shortest Path

Berbeda dengan aplikasi routing konvensional yang hanya menampilkan satu rute, sistem ini menyediakan:

- Matriks Lengkap: Jarak dan waktu tempuh untuk semua 132 pasangan rumah sakit (12x11)
- Tabel Semua Jalur: Daftar komprehensif semua kemungkinan rute dengan detail jalur yang dilalui
- Identifikasi Rute Tidak Langsung: Sistem secara otomatis mendeteksi dan menandai rute yang lebih optimal melalui RS perantara
- Visualisasi Matriks: Tampilan matriks dengan color coding untuk membedakan rute langsung, tidak langsung, dan diagonal

Fitur ini sangat berguna untuk:

- Perencanaan distribusi pasien antar rumah sakit
- Analisis aksesibilitas rumah sakit di seluruh kota
- Penelitian pola mobilitas kesehatan masyarakat

## 3. Fleksibilitas Input Lokasi Awal

Sistem menyediakan dua mode operasi yang fleksibel:

Mode Rumah Sakit ke Rumah Sakit:

- Pilihan dropdown untuk RS asal dan tujuan
- Menggunakan matriks pre-computed untuk respons instan
- Ideal untuk transfer pasien antar rumah sakit

Mode Lokasi Custom:

- Input alamat dalam bentuk teks bebas
- Klik langsung pada peta untuk menentukan lokasi
- Geocoding otomatis menggunakan Nominatim API
- Cocok untuk masyarakat umum yang ingin mencari RS terdekat dari rumah

Fleksibilitas ini membuat sistem dapat melayani berbagai kebutuhan pengguna, dari tenaga medis profesional hingga masyarakat awam.

## 4. Visualisasi Graf Jaringan

Sistem menyediakan fitur visualisasi graf yang membantu memahami struktur jaringan rumah sakit:

- Setiap rumah sakit sebagai node dalam graf
- Bobot edge menunjukkan jarak atau waktu tempuh
- Rute yang dipilih di-highlight dengan warna berbeda
- Dapat berlihat antara visualisasi berdasarkan jarak atau waktu
- Keterangan yang jelas tentang setiap node dan edge

Visualisasi ini memudahkan analisis pola koneksi dan identifikasi rumah sakit yang menjadi hub strategis.

## 5. Informasi Rute yang Komprehensif

Setiap hasil perhitungan rute menampilkan informasi detail:

- Breakdown perjalanan dari RS satu ke RS lain dengan jarak dan waktu per segmen
- Akumulasi jarak dalam kilometer dengan 2 desimal presisi
- Total waktu tempuh dalam menit
- Informasi berapa RS perantara yang dilalui (jika ada)
- Polyline pada peta mengikuti jalan sebenarnya (bukan garis lurus)

Format informasi yang terstruktur memudahkan pengambilan keputusan cepat dalam situasi darurat.

## 6. Notifikasi dan Feedback Real-Time

Sistem memberikan feedback yang jelas kepada pengguna melalui:

- Animasi loading saat proses perhitungan atau geocoding
- Pesan konfirmasi ketika rute berhasil dihitung (hijau)
- Pesan error yang deskriptif jika terjadi masalah (merah)
- Informasi umum seperti "Rute telah direset" (biru)
- Notifikasi hilang otomatis setelah 4 detik

Feedback yang konsisten meningkatkan user experience dan mengurangi kebingungan.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil implementasi dan pembahasan sistem informasi geografis pencarian rute tercepat menuju rumah sakit di Kota Kupang, dapat disimpulkan bahwa algoritma Floyd-Warshall berhasil diimplementasikan dengan efektif untuk menghitung jalur terpendek dari semua pasangan rumah sakit. Dengan dataset 12 rumah sakit, algoritma dapat menyelesaikan 729 iterasi ( $12^3$ ) dalam waktu kurang dari 1 milidetik, membuktikan efisiensi untuk dataset skala kecil hingga menengah. Sistem berhasil mengidentifikasi jalur optimal untuk 132 pasangan rumah sakit, dimana beberapa rute lebih efisien melalui jalur tidak langsung dengan melewati rumah sakit perantara dibandingkan rute langsung point-to-point.

Sistem berbasis web dengan peta interaktif menggunakan Leaflet.js memberikan antarmuka yang user-friendly dengan visualisasi marker rumah sakit berdasarkan klasifikasi jalan, polyline rute, dan panel informasi yang terstruktur. Fleksibilitas input lokasi disediakan melalui dua mode operasi routing antar rumah sakit menggunakan matriks pre-computed untuk respons instan, dan routing dari lokasi custom dengan fitur geocoding menggunakan Nominatim API. Implementasi geocoding dengan strategi multi-variasi pencarian mencapai tingkat keberhasilan 85% untuk landmark terkenal dan jalan utama di Kota Kupang, menghilangkan batasan sistem yang hanya dapat menghitung rute dari titik rumah sakit terdaftar.

Sistem menyediakan visualisasi data komprehensif melalui tiga mode: matriks Floyd-Warshall dengan color-coding, tabel semua pasangan jalur dengan detail lengkap, dan graf jaringan rumah sakit dengan edge weights. Penggunaan teknologi open-source (Leaflet.js, OpenStreetMap, Flask) dan API gratis (OpenRouteService, Nominatim) membuat sistem berkelanjutan tanpa ketergantungan vendor berbayar dan dapat direplikasi untuk kota lain. Perbandingan dengan algoritma Dijkstra dan Bellman-Ford membuktikan Floyd-Warshall optimal untuk sistem dengan karakteristik dataset kecil-menengah, kebutuhan all-pairs shortest path, dan pre-computation untuk respons instan.

Meskipun demikian, sistem memiliki beberapa keterbatasan teknis, antara lain tidak mempertimbangkan kondisi lalu lintas real-time, ketergantungan pada koneksi internet, akurasi geocoding terbatas untuk alamat lokal yang kurang terindeks, dan tidak mempertimbangkan faktor medis seperti spesialisasi rumah sakit atau ketersediaan fasilitas. Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa algoritma Floyd-Warshall efektif untuk sistem routing rumah sakit di Kota Kupang dengan implementasi yang user-friendly dan potensi pengembangan yang tinggi.

##### Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan, beberapa saran untuk pengembangan sistem di masa mendatang meliputi integrasi data real-time dari API traffic dan sistem informasi rumah sakit (SIMRS) untuk meningkatkan akurasi estimasi waktu tempuh dan ketersediaan fasilitas medis. Perluasan dataset menjadi 30-50 lokasi dengan menambahkan puskesmas, klinik 24 jam, dan apotek dapat meningkatkan utilitas sistem, namun perlu dipertimbangkan migrasi ke algoritma hierarchical routing atau A\* untuk dataset lebih dari 100 node agar tetap efisien.

Pengembangan fitur lanjutan yang disarankan mencakup penambahan rute alternatif, filter spesialisasi rumah sakit, estimasi biaya perjalanan dan perawatan, integrasi booking ambulans dengan call center 119, serta voice navigation untuk panduan step-by-step. Implementasi Progressive Web App (PWA) sangat direkomendasikan untuk mendukung mode offline dengan caching data, instalasi sebagai aplikasi mobile, push notification, dan akses GPS untuk auto-detect lokasi pengguna. Peningkatan akurasi geocoding dapat dilakukan dengan membangun database alamat lokal Kupang, integrasi multiple geocoding providers (Nominatim, Google Maps, Mapbox) dengan fallback mechanism, dan implementasi fuzzy matching untuk toleransi typo.

Untuk optimasi performa dan skalabilitas, disarankan implementasi caching layer (Redis) untuk matriks dan hasil perhitungan, database migration dari JSON ke PostgreSQL untuk query lebih efisien, serta CDN untuk serving static assets. Penambahan fitur analitik dan machine learning dapat memberikan kemampuan prediktif seperti prediksi traffic berdasarkan historical data, clustering analysis untuk mengidentifikasi area dengan aksesibilitas rendah, dan recommendation sistem untuk suggest rumah sakit

berdasarkan kondisi medis. Validasi lapangan melalui field testing dengan ambulans dan survey kepuasan pengguna sangat penting untuk memastikan akurasi sistem dalam kondisi nyata.

Bagi stakeholder, pemerintah daerah disarankan menyediakan data rumah sakit yang terstruktur dan up-to-date serta mendukung deployment sistem sebagai layanan publik resmi. Rumah sakit diharapkan dapat menyediakan API untuk informasi real-time seperti bed availability dan status IGD, serta melatih staf untuk menggunakan sistem dalam koordinasi transfer pasien. Akademisi dan peneliti dapat melakukan riset lanjutan dengan studi komparatif performa berbagai algoritma, analisis spasial lanjutan menggunakan perspektif GIS, dan pengembangan multi-criteria decision making dengan metode AHP atau TOPSIS yang mempertimbangkan faktor jarak, waktu, biaya, kualitas, dan spesialisasi rumah sakit.

Untuk implementasi jangka pendek (3-6 bulan), prioritas diberikan pada penambahan 10-15 fasilitas kesehatan tambahan, implementasi PWA untuk mode offline, dan integrasi Google Analytics untuk tracking penggunaan. Jangka menengah (6-12 bulan) fokus pada integrasi dengan SIMRS, pengembangan mobile app native, dan implementasi machine learning untuk prediksi traffic. Sedangkan jangka panjang (1-2 tahun) mencakup ekspansi ke seluruh wilayah NTT, integrasi dengan sistem emergency response nasional (119), dan standardisasi sebagai blueprint untuk kota-kota lain di Indonesia. Keberhasilan implementasi sistem ini sangat bergantung pada kolaborasi antara pemerintah, rumah sakit, akademisi, dan komunitas developer dalam ekosistem kesehatan digital yang terintegrasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iriene A. Ndoen, John H. Frans & Dolly W. Karel, "Analisis Faktor dan Kinerja Ruas Jalan Akibat Aktivitas Rumah Sakit Siloam dan Pertokoan di Jalan R.W. Monginsidi, Kota Kupang," *Jurnal Forum Teknik Sipil*, vol. 4 , no. 1, pp. 36-44, Mei 2024.
- [2] Amy Wadu, Ludofikus Dumin & Priska Gardeni Nahak, "Penanganan Kemacetan Lalu Lintas Yang Ditimbulkan Akibat Pergerakan Putar Balik (U-Turn) Pada Jalan Perkotaan," *Borneo Engineering: Jurnal Teknik Sipil*, vol. 8 , no. 2, pp. 187-196, Agustus 2024.
- [3] Darmadi, T. M. Diansyah & Divi Handoko, "Penerapan Algoritma Floyd Warshall dengan Menggunakan Euclidean Distance dalam Menentukan Rute Terbaik," *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi (JIRSI)*, vol. 2, no. 2, pp. 195-205, Mei 2023.
- [4] Bela Nava Safitri, Evawati Alisah, Muhammad Nafie Jauhari & Hisyam Fahmi, "Implementasi Algoritma Floyd Warshall dalam Pencarian Rute Terpendek ,," *Jurnal Riset Mahasiswa Matematika*, vol. 2, no. 4, pp. 161-172, Mei 2023.
- [5] Indra Riksa Herlambang, Mohamad Nurkamal Fauzan & Rd. Nuraini Siti Fathonah, "Penentuan Rute Terpendek Pendistribusian Barang Menggunakan Algoritma Floyd-Warshall," *Jurnal Teknologi Informasi*, vol. 20, no. 3, pp. 342-467, Agustus 2021.
- [6] Zulmagfir Buako, Lailany Yahya & Noviati Achmad, "APLIKASI ALGORITMA FLOYD-WARSHALL DENGAN PENDEKATAN MADM DALAM MENENTUKAN RUTE TERPENDEK PENGANGKUTAN SAMPAH," *EULER: Jurnal Ilmiah Matematika, Sains, dan Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 62-70, Desember 2021.
- [7] Uriel Gomez, Ivan Perez Olguin, Luis Perez, Luis Alberto Rodriguez-Picon & Luis Carlos Mendez-Gonzales, "Distribution Route Optimization Using Floyd-Warshall Weighted Graph Analysis Algorithm with Google Maps Integration in Industry 4.0 Context," *Springer Nature*, pp. 279-304, June 2023.
- [8] Ioanna Tsalouchidou, Ricardo Baeza-Yates, Francesco Bonchi, Kewen Liao & Timos Sellis, "Temporal betweenness centrality in dynamic graphs," *International Journal of Data Science and Analytics*, vol. 9, no. 3, pp. 257-272, June 2020.
- [9] Xiaohan Wu, Wenpu Cao, Jianying Wang, Yi Zhang, Weijun Yang & Yu Liu, "A spatial interaction incorporated betweenness centrality measure," *PLOS ONE*, vol. 17, no. 5, May 2022.