

Penerapan Metode *Closest Facility Analysis* untuk Penentuan Rute Ambulans berbasis Sistem Informasi Geografis

Maghriza Azzanna^{1*}, Nurdin¹, Fajriana¹

¹ Program Studi Magister Teknologi Informasi, Universitas Malikussaleh, Indonesia

* Corresponding author: amaghriza@gmail.com

Sitasi: M. Azzanna, N. Nurdin, and F. Fajriana, "Penerapan Metode *Closest Facility Analysis* untuk Penentuan Rute Ambulans berbasis Sistem Informasi Geografis," *Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, vol. 8, no. 4, pp. 1021–1031, 2026.

Diterima : 29-07-2026
Direvisi : 16-09-2026
Disetujui : 30-09-2026
Diterbitkan : 12-10-2026

Copyright: © 2026 oleh para penulis. Karya ini dilisensikan di bawah Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License.

Abstrak. Banjir di Kota Banda Aceh berpotensi mengganggu akses dari tempat penungsian ke rumah sakit rujukan, sehingga perencanaan rute ambulans penting dalam tanggap darurat terpadu. Penelitian ini menerapkan *Closest Facility Analysis* (CFA) berbasis SIG untuk menentukan rute berbiaya minimum dari 18 tempat evakuasi ke enam rumah sakit rujukan. Data jaringan jalan, *shelter*, rumah sakit, genangan banjir, dan batas administrasi diseragamkan pada WGS 1984 UTM Zone 46N, diperiksa topologi dan konektivitasnya, lalu dibangun menjadi *network dataset* di ArcGIS Pro. *Shelter* ditetapkan sebagai fasilitas insiden dan rumah sakit sebagai fasilitas tujuan, dengan jarak dan waktu tempuh teoritis sebagai impedansi (kecepatan ambulans 60 km/jam). CFA menghasilkan 18 rute dengan jarak 0,66–4,49 km dan waktu tempuh 40 detik–4 menit 29 detik; rata-rata 2,10 km dan 2 menit 7 detik, dengan 11 rute (61,11%) berjarak ≤ 2 km. Rute terpendek menghubungkan SMP IT Nurul Islah dengan RSUD dr. Zainoel Abidin, sedangkan terpanjang menghubungkan Escape Building Ulee Lheue dengan RS Harapan Bunda. CFA mampu mengidentifikasi keterjangkauan spasial *shelter* terhadap fasilitas kesehatan melalui jaringan jalan aktual dan menyediakan informasi rute, jarak, serta waktu tempuh sebagai dasar perencanaan awal rujukan ambulans. Penerapan operasionalnya masih memerlukan integrasi informasi dinamis seperti kondisi lalu lintas, ruas jalan terdampak, dan kapasitas pelayanan rumah sakit.

Kata kunci: *Closest Facility Analysis*; Rute Ambulans; Sistem Informasi Geografis; Rumah Sakit Rujukan; Evakuasi Banjir

Abstract. Flooding in Banda Aceh may disrupt access from evacuation shelters to referral hospitals, making ambulance route planning essential to integrated emergency response. This study applies GIS-based *Closest Facility Analysis* (CFA) to determine minimum-cost routes from 18 evacuation shelters to six referral hospitals. Road network, shelter, hospital, flood inundation, and administrative boundary data were standardized to WGS 1984 UTM Zone 46N, checked for topology and connectivity, and built into a network dataset in ArcGIS Pro. Shelters were defined as incident facilities and hospitals as destination facilities, with theoretical distance and travel time as impedance attributes (assuming an ambulance speed of 60 km/h). CFA produced 18 routes with distances of 0.66–4.49 km and travel times of 40 seconds to 4 minutes 29 seconds; the mean distance was 2.10 km and the mean travel time 2 minutes 7 seconds, with 11 routes (61.11%) no longer than 2 km. The shortest route connects SMP IT Nurul Islah with RSUD dr. Zainoel Abidin, while the longest connects Escape Building Ulee Lheue with RS Harapan Bunda. CFA can identify the spatial accessibility of shelters to healthcare facilities through the actual road network and provides route, distance, and travel time information as a basis for preliminary ambulance referral planning. Operational implementation, however, still requires integrating dynamic information such as traffic conditions, affected road segments, and hospital service capacity.

Keywords: *Closest Facility Analysis*; Ambulance Route; Geographic Information System; Referral Hospital; Flood Evacuation

1. Pendahuluan

Kota Banda Aceh merupakan wilayah pesisir dengan topografi relatif datar dan elevasi rendah. Kondisi tersebut, bersama curah hujan tinggi, perkembangan kawasan terbangun, serta kapasitas drainase yang belum optimal, meningkatkan potensi genangan di berbagai bagian kota. Kerawanan hidrometeorologis menuntut perencanaan penanganan bencana yang tidak berhenti pada pemindahan masyarakat menuju tempat evakuasi, tetapi juga menjamin kesinambungan akses korban terhadap pelayanan kesehatan. Ketahanan kota terhadap bahaya pesisir sangat dipengaruhi oleh kesiapan infrastruktur dan keterhubungan fasilitas layanan [1].

Dalam fase tanggap darurat, *shelter* berfungsi sebagai lokasi aman sementara. Namun, lanjut usia, anak-anak, penyandang disabilitas, korban cedera, serta masyarakat dengan kondisi medis tertentu dapat memerlukan rujukan ke rumah sakit. Keterlambatan ambulans akibat pemilihan rute yang tidak tepat, ruas jalan terputus, atau fasilitas yang dipilih hanya berdasarkan jarak lurus dapat mengurangi efektivitas pertolongan. Oleh sebab itu, rute ambulans perlu direncanakan sebagai kelanjutan dari jalur evakuasi masyarakat dan dianalisis berdasarkan jaringan jalan aktual.

Sistem Informasi Geografis (SIG) mengintegrasikan jaringan jalan, lokasi *shelter*, rumah sakit, batas administrasi, dan genangan dalam satu lingkungan analisis. Pendekatan SIG telah digunakan untuk menentukan jalur evakuasi kawasan rawan banjir [2], memetakan hubungan waktu dan jarak [3], serta menyusun rute pada wilayah dengan tingkat kerentanan berbeda [4]. Dibandingkan pengukuran Euclidean, analisis jaringan mampu mempertimbangkan ruas jalan aktual, simpang, konektivitas, arah perjalanan, dan atribut biaya sehingga hasil lebih representatif terhadap kondisi spasial.

Closest Facility Analysis (CFA) merupakan salah satu *solver* pada *Network Analyst* yang menghubungkan titik permintaan layanan (*incident*) dengan fasilitas tujuan (*facility*) berdasarkan nilai impedansi minimum, seperti jarak atau waktu tempuh [5, 6]. Dibandingkan pendekatan berbasis jarak Euclidean yang hanya mempertimbangkan kedekatan geometris, CFA memiliki keunggulan karena menggunakan struktur jaringan jalan aktual yang mempertimbangkan konektivitas ruas, arah perjalanan, serta atribut biaya perjalanan. Karakteristik tersebut menjadikan CFA sesuai untuk penelitian ini karena penentuan rute ambulans membutuhkan perhitungan berbasis jaringan transportasi yang mampu merepresentasikan kondisi perjalanan sebenarnya. Selain itu, CFA bersifat deterministik sehingga menghasilkan rute yang konsisten dan mudah ditelusuri, sehingga relevan untuk mendukung pengambilan keputusan cepat dalam kondisi darurat.

Jaringan pada CFA direpresentasikan sebagai graf yang terdiri atas simpul (*node*) dan ruas (*edge*) dengan bobot tertentu berupa jarak atau waktu tempuh. *Solver* kemudian mengevaluasi biaya kumulatif dari setiap lintasan yang tersedia untuk menentukan rute dengan nilai impedansi minimum. Pendekatan *least-cost path* dan *closest facility* telah digunakan dalam berbagai studi untuk membangun jaringan layanan yang efisien. Strzalka et al. [7] menerapkan kombinasi *least-cost path* dan *closest facility analysis* untuk membangun jaringan berbasis biaya perjalanan, sedangkan Agung [8] menunjukkan penerapan algoritma jalur terpendek dalam menentukan lintasan minimum berdasarkan bobot jaringan. Dalam konteks kebencanaan, pendekatan analisis jaringan juga telah digunakan untuk menghasilkan jalur evakuasi yang lebih realistis dengan mempertimbangkan karakteristik jaringan jalan [9].

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa analisis jaringan berbasis SIG efektif dalam mendukung perencanaan rute darurat. Parajuli et al. [4] menerapkan analisis jaringan SIG untuk perencanaan jalur evakuasi pada kawasan rawan banjir dengan mempertimbangkan aksesibilitas terhadap lokasi aman. Di Banda Aceh, Liperda et al. [10] menggunakan metode *closest facility* untuk

mengevaluasi keterjangkauan bangunan evakuasi tsunami di Kecamatan Meuraxa. Pada sektor pelayanan kesehatan, penelitian Taran[9] dan Thein et al.[11] menunjukkan bahwa analisis SIG mampu mengidentifikasi pola aksesibilitas antara lokasi permintaan dan fasilitas kesehatan.

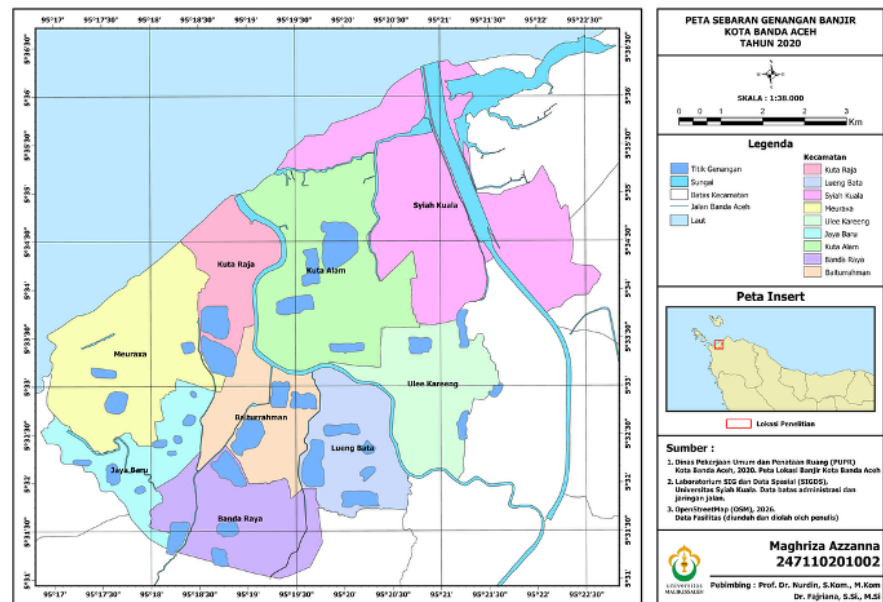
Meskipun demikian, penelitian terdahulu masih memiliki beberapa keterbatasan. Sebagian besar studi sebelumnya berfokus pada penentuan jalur evakuasi masyarakat menuju lokasi aman atau mengevaluasi aksesibilitas fasilitas kesehatan secara terpisah. Integrasi antara tahap evakuasi awal menuju *shelter* dan tahap lanjutan berupa rujukan medis dari *shelter* menuju rumah sakit melalui model jaringan ambulans masih belum banyak dikaji, khususnya pada wilayah perkotaan rawan banjir seperti Kota Banda Aceh.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini menerapkan *Closest Facility Analysis* (CFA) berbasis Sistem Informasi Geografis untuk menentukan rute ambulans dari 18 tempat evakuasi menuju enam rumah sakit rujukan di Kota Banda Aceh. Penelitian ini bertujuan untuk (1) membangun konfigurasi *incident-facility* antara *shelter* dan rumah sakit pada jaringan jalan aktual, (2) menghasilkan rekomendasi rute ambulans berdasarkan jarak dan waktu tempuh minimum, serta (3) menganalisis pola keterjangkauan spasial *shelter* terhadap fasilitas kesehatan sebagai dasar awal perencanaan rujukan medis berbasis wilayah. Artikel ini merupakan pemfokusan dari tesis yang lebih luas mengenai jalur evakuasi banjir dan rute ambulans berbasis SIG.

2. Bahan dan Metode

2.1. Lokasi dan Data Penelitian

Wilayah penelitian meliputi delapan kecamatan di Kota Banda Aceh yang memiliki tingkat kerawanan banjir, yaitu Kecamatan Meuraxa, Kuta Raja, Kuta Alam, Ulee Kareng, Lueng Bata, Baiturrahman, Banda Raya, dan Jaya Baru. Data yang digunakan dalam analisis meliputi jaringan jalan, 33 lokasi penampungan, 18 tempat pengungsian, enam rumah sakit rujukan, serta batas administrasi wilayah. Rumah sakit rujukan yang digunakan terdiri atas RSUD dr. Zainoel Abidin yang berlokasi di Kecamatan Kuta Alam, RS Harapan Bunda di Kecamatan Baiturrahman, RS Cempaka Lima di Kecamatan Kuta Alam, RS Bhayangkara di Kecamatan Kuta Alam, RS Tgk Fakinah di Kecamatan Ulee Kareng, serta RS Meuraxa di Kecamatan Meuraxa. Data penelitian diperoleh dari arsip Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Banda Aceh, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kota Banda Aceh, serta sumber data spasial digital yang digunakan dalam penelitian. Persebaran lokasi penelitian dan fasilitas pendukung ditampilkan pada [Gambar 1](#) yang menggambarkan distribusi wilayah terdampak banjir, jaringan jalan, serta keterhubungan spasial antara lokasi evakuasi dan fasilitas kesehatan rujukan.



Gambar 1. Peta sebaran genangan banjir pada wilayah penelitian di Kota Banda Aceh. Sumber: Dinas PUPR dan hasil pengolahan penelitian.

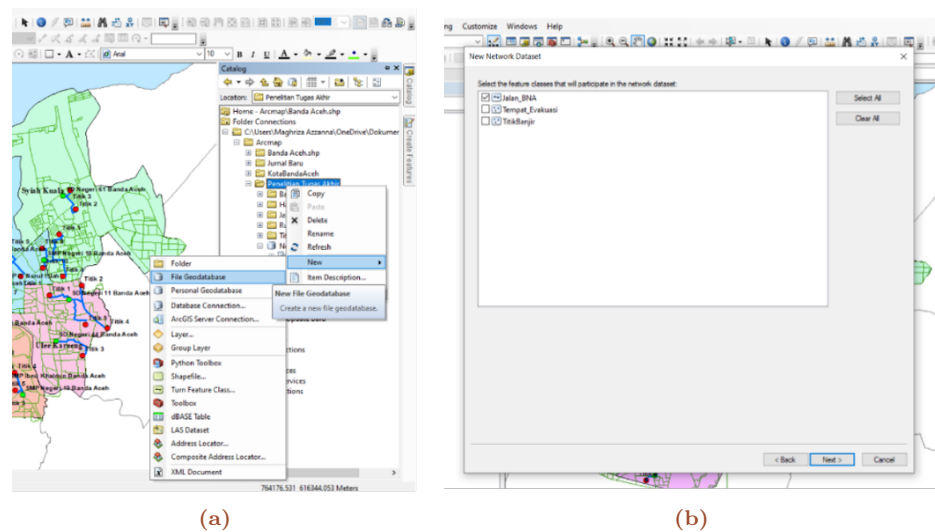
Informasi genangan digunakan sebagai konteks spasial untuk menggambarkan distribusi wilayah terdampak banjir dan sebagai dasar validasi visual terhadap hasil rute ambulans. Dalam penelitian ini, pengumpulan data tidak diterapkan sebagai penghalang atau pengubahan nilai impedansi pada dataset jaringan, karena keterbatasan informasi mengenai kedalaman penyimpanan, waktu kejadian, serta status keterbukaan ruas jalan secara temporal. Oleh karena itu, perhitungan CFA tetap menggunakan jaringan jalan yang tersedia dengan parameter jarak dan waktu torsi torsi. Lokasi sekitarnya digunakan untuk mengidentifikasi ruas jaringan yang berpotensi mengalami gangguan akses dan menjadi pertimbangan dalam interpretasi hasil rute.

Tabel 1. Ringkasan data dalam analisis rute ambulans.

No.	Komponen data	Jumlah
1	Kecamatan terdampak banjir	8
2	Titik/genangan banjir	33
3	Tempat evakuasi	18
4	Rumah sakit rujukan	6

2.2. Pra-pemrosesan Jaringan Jalan

Seluruh layer diseragamkan ke sistem koordinat WGS 1984 UTM Zone 46N agar posisi dan panjang ruas dapat dihitung konsisten. Jaringan diperiksa untuk mendeteksi *dangling edge*, *gap*, *overlap*, dan simpul yang tidak terhubung. Data disimpan dalam file geodatabase dan dibangun menjadi *network dataset*. Setiap ruas memuat atribut panjang, kecepatan, dan arah perjalanan sehingga perhitungan mengikuti topologi jaringan, bukan jarak garis lurus. Tahap pembentukan basis jaringan diperlihatkan pada Gambar 2.



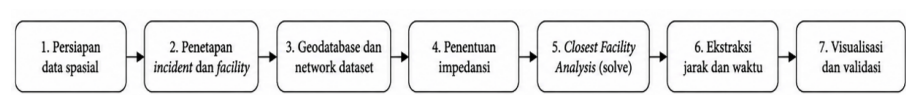
Gambar 2. Pembentukan basis jaringan: (a) pembuatan file geodatabase; (b) pemilihan feature class pada pembuatan *network dataset*.

Pada skenario rute ambulans, 18 *shelter* ditetapkan sebagai fasilitas insiden dan enam rumah sakit. Kecepatan rata-rata ambulans ditetapkan sebesar 60 km/jam sebagai imajinasi berdasarkan kondisi perjalanan darurat pada jaringan jalan perkotaan, dengan mempertimbangkan bahwa ambulans memiliki prioritas pergerakan dibandingkan kendaraan umum, tetapi tetap mengatasi keterbatasan akibat karakteristik jaringan jalan, persimpangan, dan kondisi lingkungan. Nilai kecepatan tersebut digunakan untuk menghitung estimasi waktu tempuh setiap ruas jalan berdasarkan panjang jaringan, kemudian diakumulasi oleh *solver* menjadi atribut *Total_Minutes*. Dalam penelitian ini, nilai waktu yang dihasilkan merupakan waktu psikologi pada kondisi statistik jaringan dan belum mempertimbangkan faktor dinamis seperti kepadatan lalu lintas, hambatan jalan, proses mobilisasi pasien, maupun perubahan akses akibat akumulasi.

2.3. Prosedur *Closest Facility Analysis*

Analisis dilakukan melalui *ArcGIS Pro Network Analyst* dengan arah perjalanan dari *shelter* menuju rumah sakit. *Closest Facility Analysis* (CFA) merupakan salah satu *solver* pada *Network Analyst* yang digunakan untuk menentukan fasilitas tujuan berdasarkan biaya perjalanan minimum (impedansi minimum) pada jaringan jalan. Metode ini bekerja dengan merepresentasikan jaringan sebagai graf yang terdiri atas simpul (*node*) dan ruas (*edge*) berbobot jarak atau waktu, kemudian menghitung nilai biaya kumulatif dari setiap alternatif lintasan untuk memperoleh rute optimal antara titik asal (insiden) dan fasilitas tujuan (fasilitas) [5, 7].

Pada penelitian ini, *shelter* ditetapkan sebagai fasilitas insiden dan rumah sakit rujukan sebagai fasilitas. *Solver* CFA menelusuri lintasan yang memenuhi aturan konektivitas jaringan, menghitung biaya perjalanan berdasarkan parameter impedansi yang digunakan, kemudian memilih pasangan *shelter*–rumah sakit dengan nilai impedansi kumulatif minimum. Analisis keluaran berupa rute polylines, identitas fasilitas tujuan (fasilitas), nilai *Total_Length*, dan *Total_Minutes*. Tahapan penerapan CFA pada penelitian ini disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alur penerapan *Closest Facility Analysis* untuk penentuan rute ambulans berdasarkan tahapan dalam tesis.

Berdasarkan Gambar 3, proses CFA diawali dengan persiapan data spasial yang meliputi jaringan jalan, lokasi *shelter*, rumah sakit, dan data pendukung lainnya. Selanjutnya dilakukan penetapan insiden dan fasilitas, yaitu *shelter* sebagai lokasi asal ambulans dan rumah sakit sebagai tujuan rujukan. Data tersebut kemudian diintegrasikan ke dalam geodatabase dan dibangun menjadi dataset jaringan agar analisis dapat mempertimbangkan struktur jaringan jalan aktual. Tahap berikutnya adalah penentuan parameter impedansi berupa Panjang untuk jarak dan Waktu untuk waktu perjalanan. Setelah seluruh parameter tersedia, proses *Closest Facility Solve* dilakukan untuk mendapatkan rute dengan biaya perjalanan minimum. Hasil analisis kemudian diekstraksi dalam bentuk nilai jarak dan waktu tempuh serta divisualisasikan untuk proses validasi spasial.

Validasi dilakukan secara visual dengan menumpangtindihkan rute hasil CFA terhadap jaringan jalan dan peta pengumpulan. Pemeriksaan dilakukan untuk memastikan bahwa jalur yang dihasilkan mengikuti ruas jalan yang terhubung, berawal dari *shelter* yang sesuai, dan berakhir pada rumah sakit hasil *solver*. Karena model menggunakan kondisi jaringan statistik, hasil analisis merepresentasikan rekomendasi rute berdasarkan periode data dan asumsi kecepatan yang digunakan.

2.4. Teknik Analisis Hasil

Hasil dianalisis secara deskriptif berdasarkan jumlah rute, jarak minimum dan maksimum, rata-rata, median, total waktu, serta distribusi rumah sakit tujuan. Rute dikelompokkan pula berdasarkan batas dua kilometer dan dua menit. Analisis tidak memasukkan kapasitas rumah sakit, jenis layanan klinis, jumlah pasien, lalu lintas aktual, waktu mobilisasi ambulans, maupun perubahan akses secara *real time*.

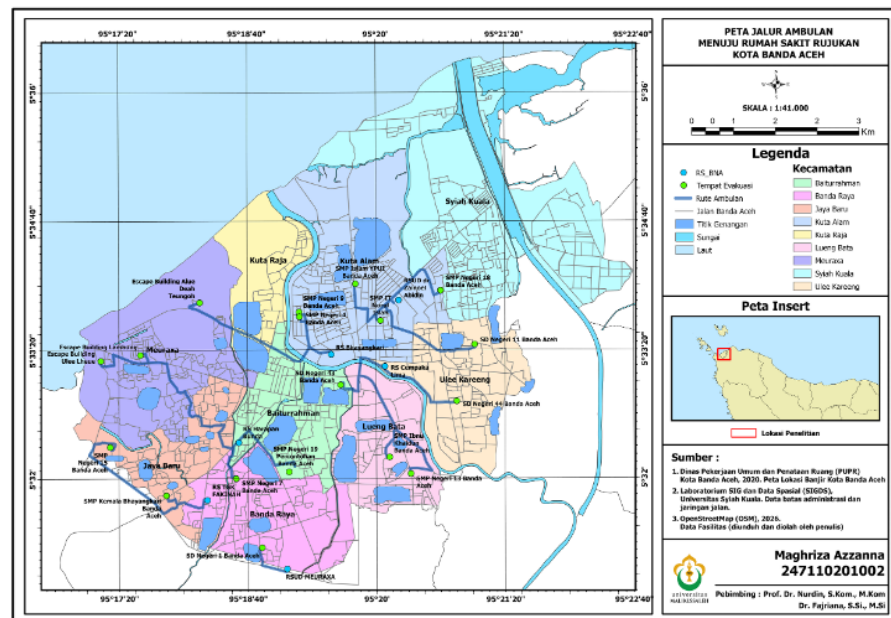
3. Hasil

3.1. Pola Rute Ambulans

CFA menghasilkan satu rute terpilih dari setiap tempat evakuasi menuju rumah sakit rujukan berdasarkan nilai impedansi perjalanan minimum pada jaringan jalan. Dalam analisis ini, *shelter* berperan sebagai titik asal (insiden), sedangkan rumah sakit berperan sebagai fasilitas tujuan (fasilitas). *Solver* CFA menyiarkan seluruh lintasan alternatif yang tersedia pada kumpulan data jaringan, kemudian memilih jalur dengan total biaya perjalanan terendah berdasarkan parameter jarak dan waktu perjalanan.

Hasil analisis menunjukkan bahwa distribusi rute ambulans dipengaruhi oleh posisi spasial *shelter*, lokasi fasilitas kesehatan, serta konfigurasi jaringan jalan. *Shelter* di bagian barat dan pusat Kota Banda Aceh lebih banyak terhubung dengan RS Bhayangkari, RS Harapan Bunda, RS Tgk Fakinah, dan RS Meuraxa. Sementara itu, *shelter* di bagian utara dan timur kota cenderung memiliki hubungan rute menuju RSUD dr. Zainoel Abidin dan RS Cempaka Lima karena memiliki akses jaringan jalan dengan nilai impedansi lebih rendah.

Misalnya, rute terpendek diperoleh dari SMP IT Nurul Islah menuju RSUD dr. Zainoel Abidin dengan panjang lintasan 0,66 km dan waktu tempuh teoritis 40 detik. Sebaliknya, rute terpanjang diperoleh dari Escape Building Ulee Lheue menuju RS Harapan Bunda dengan panjang lintasan 4,49 km dan waktu tempuh 4 menit 29 detik. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa pemilihan tujuan rumah sakit tidak hanya dipengaruhi oleh jarak geografis, tetapi juga oleh keterhubungan ruas jalan dalam *network dataset*.



Gambar 4. Peta rute ambulans hasil *Closest Facility Analysis* dari 18 tempat evakuasi menuju enam rumah sakit rujukan di Kota Banda Aceh. Sumber: hasil pengolahan penelitian.

Berdasarkan hasil distribusi tujuan, RSUD dr. Zainoel Abidin, RS Harapan Bunda, dan RS Cempaka Lima masing-masing menjadi tujuan empat *shelter*; RS Bhayangkari menjadi tujuan tiga *shelter*; RS Tgk Fakinah dua *shelter*; dan RS Meuraxa satu *shelter*. Konsentrasi tujuan pada beberapa rumah sakit tersebut menunjukkan pola keterhubungan spasial antara *shelter* dan fasilitas kesehatan, tetapi belum dapat diinterpretasikan sebagai distribusi beban pasien karena faktor kapasitas tempat tidur, jenis layanan medis, dan jumlah korban tidak termasuk dalam model penelitian.

3.2. Statistik Jarak dan Waktu Tempuh

Nilai statistik jarak dan waktu tempuh pada Tabel 2 diperoleh dari hasil keluaran (*output*) *solver* CFA pada *ArcGIS Pro Network Analyst*. Setelah proses *Solve* selesai, setiap rute menghasilkan atribut *Total_Length* sebagai nilai panjang lintasan dan *Total_Minutes* sebagai estimasi waktu tempuh berdasarkan atribut kecepatan jaringan. Seluruh nilai dari 18 rute ambulans kemudian direkapitulasi dan dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh nilai minimum, maksimum, rata-rata, median, serta proporsi rute berdasarkan batas jarak dua kilometer dan waktu dua menit.

Tabel 2. Statistik deskriptif rute ambulans hasil *Closest Facility Analysis*.

Parameter	Rata-rata/proporsi	Maksimum	Minimum
Jarak rute	2,10 km	4,49 km	0,66 km
Waktu tempuh	2 menit 7 detik	4 menit 29 detik	40 detik
Rute $\leq$ 2 km	11 dari 18 rute (61,11%)	—	—
Rute $\leq$ 2 menit	11 dari 18 rute (61,11%)	—	—

Jarak kumulatif seluruh rute mencapai 37,78 km dengan rata-rata 2,10 km dan median 1,61 km. Total waktu tempuh teoritis adalah 38 menit, dengan rata-rata 2 menit 7 detik dan median sekitar 1 menit 38 detik. Sebanyak 11 dari 18 rute (61,11%) memiliki panjang tidak lebih dari dua kilometer. Proporsi yang sama dapat ditempuh paling lama dua menit karena waktu dihitung menggunakan kecepatan konstan 60 km/jam.

Rute terpendek diperoleh dari SMP IT Nurul Islah menuju RSUD dr. Zainoel Abidin dengan jarak 0,66 km dan waktu 40 detik. Rute lain yang relatif pendek adalah SD Negeri 1 Banda Aceh menuju RS Meuraxa sejauh 0,80 km dan SMP Negeri 7 Banda Aceh menuju RS Harapan Bunda sejauh 0,84 km. Rute terpanjang berasal dari Escape Building Ulee Lheue menuju RS Harapan Bunda dengan jarak 4,49 km dan waktu 4 menit 29 detik. Lima rute memiliki jarak lebih dari tiga kilometer, terutama dari bangunan evakuasi pesisir atau *shelter* yang relatif jauh dari fasilitas kesehatan.

3.3. Rincian Rute Shelter–Rumah Sakit

Tabel 3. Hasil penentuan rute ambulans dari tempat evakuasi menuju rumah sakit rujukan.

Tempat Evakuasi	Rumah Sakit Tujuan	Jarak (km)	Waktu Tempuh
SMP IT Nurul Islah	RSUD dr. Zainoel Abidin	0,66	40 detik
SD Negeri 1 Banda Aceh	RS Meuraxa	0,80	51 detik
SMP Negeri 7 Banda Aceh	RS Harapan Bunda	0,84	51 detik
SMP Kemala Bhayangkari Banda Aceh	RS Tgk Fakinah	1,01	1 menit 1 detik
SMP Negeri 4 Banda Aceh	RS Bhayangkari	1,12	1 menit 7 detik
SMP Negeri 9 Banda Aceh	RS Bhayangkari	1,25	1 menit 15 detik
SD Negeri 43 Banda Aceh	RS Cempaka Lima	1,59	1 menit 36 detik
SMP Negeri 19 Percontohan	RS Harapan Bunda	1,59	1 menit 36 detik
SD Negeri 44 Banda Aceh	RS Cempaka Lima	1,60	1 menit 42 detik
SMP Negeri 18 Banda Aceh	RSUD dr. Zainoel Abidin	1,62	1 menit 37 detik
SMP Islam YPUI Banda Aceh	RSUD dr. Zainoel Abidin	1,63	1 menit 38 detik
SD Negeri 11 Banda Aceh	RSUD dr. Zainoel Abidin	2,56	2 menit 34 detik
SMP Ibnu Khaldun Banda Aceh	RS Cempaka Lima	2,77	2 menit 47 detik
Escape Building Alue Deah Teungoh	RS Bhayangkari	3,35	3 menit 21 detik
Escape Building Lambung	RS Harapan Bunda	3,53	3 menit 32 detik
SMP Negeri 15 Banda Aceh	RS Tgk Fakinah	3,62	3 menit 38 detik
SMP Negeri 13 Banda Aceh	RS Cempaka Lima	3,75	3 menit 45 detik
Escape Building Ulee Lheue	RS Harapan Bunda	4,49	4 menit 29 detik

Tabel 3 memperlihatkan variasi keterjangkauan antar-*shelter*. Escape Building Alue Deah Teungoh, Escape Building Lambung, dan Escape Building Ulee Lheue memiliki rute 3,35–4,49 km. Sebaliknya, beberapa sekolah yang berfungsi sebagai *shelter* di pusat, utara, dan selatan kota memiliki akses di bawah dua kilometer. Perbedaan tersebut menegaskan bahwa posisi *shelter* terhadap koridor jalan utama dan lokasi rumah sakit sangat menentukan biaya perjalanan hasil CFA.

4. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *Closest Facility Analysis* (CFA) berbasis Sistem Informasi Geografis mampu membentuk rute ambulans dari seluruh *shelter* menuju rumah sakit rujukan berdasarkan nilai impedansi minimum pada jaringan jalan. Penelitian ini menghasilkan 18 rute ambulans dengan jarak 0,66–4,49 km dan waktu tempuh teoritis 40 detik–4 menit 29 detik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa CFA tidak hanya menghasilkan fasilitas tujuan terdekat,

tetapi juga memberikan informasi kuantitatif berupa panjang lintasan dan perkiraan waktu perjalanan yang dapat digunakan untuk menyebarkan keterjangkauan layanan kesehatan pascaevakuasi.

Berbeda dengan pendekatan yang hanya menggunakan jarak Euclidean, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa pemilihan rumah sakit dipengaruhi oleh struktur jaringan jalan, konektivitas ruas, serta biaya perjalanan kumulatif. Hal tersebut terlihat dari adanya variasi rute antar shelter, meskipun beberapa lokasi memiliki jarak geografis yang relatif dekilat. Dengan demikian, pendekatan berbasis jaringan memberikan representasi perjalanan yang lebih realistis karena mempertimbangkan jalur yang benar-benar tersedia bagi kendaraan ambulans.

4.1. Kinerja Spasial Metode CFA

Keunggulan utama CFA dalam penelitian ini terletak pada kemampuannya mengintegrasikan lokasi *shelter* dan fasilitas kesehatan dalam satu model jaringan. *Solver* CFA memancarkan alternatif lintasan berdasarkan impedansi minimum sehingga menghasilkan rute yang dapat ditelusuri dari titik asal hingga fasilitas tujuan. Temuan ini memperkuat penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa analisis jaringan berbasis SIG mampu menghasilkan jalur evakuasi yang lebih realistis dibandingkan pendekatan berbasis kedekatan spasial sederhana [4, 10, 12].

Namun, penelitian ini memiliki perbedaan fokus dibandingkan penelitian terdahulu. Penelitian sebelumnya seperti Parajuli dkk. [4] lebih banyak keputusan penentuan jalur evakuasi masyarakat menuju lokasi aman, sedangkan Liperda dkk. [10] menggunakan fasilitas terdekat untuk menerangi keterjangkauan bangunan evakuasi tsunami. Penelitian ini memperluas penerapan CFA dengan mengintegrasikan tahap pascaevakuasi, yaitu hubungan antara *shelter* banjir sebagai titik asal ambulans dan rumah sakit sebagai fasilitas rujukan medis. Oleh karena itu, kontribusi penelitian ini terletak pada pemodelan kesinambungan layanan darurat dari lokasi evakuasi menuju fasilitas kesehatan.

4.2. Pola Keterjangkauan dan Implikasi Rujukan

Hasil analisis menunjukkan bahwa RSUD dr. Zainoel Abidin, RS Harapan Bunda, dan RS Cempaka Lima menjadi fasilitas tujuan yang paling banyak terhubung dengan *shelter*. Masing-masing rumah sakit menerima rute dari empat *shelter*, sedangkan RS Bhayangkari menerima tiga *shelter*, RS Tgk Fakinah dua *shelter*, dan RS Meuraxa satu *shelter*. Pola tersebut menunjukkan bahwa distribusi rute ambulans tidak hanya dipengaruhi oleh kedekatan lokasi, tetapi juga oleh konfigurasi jaringan jalan yang menghasilkan nilai impedansi lebih rendah.

Rute terpendek ditemukan pada hubungan SMP IT Nurul Islah menuju RSUD dr. Zainoel Abidin dengan jarak 0,66 km dan waktu tempuh 40 detik, sedangkan rute terpanjang berasal dari Escape Building Ulee Lheue menuju RS Harapan Bunda dengan jarak 4,49 km dan waktu tempuh 4 menit 29 detik. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya variasi keterjangkauan spasial antarwilayah. *Shelter* yang berada dekat pusat fasilitas kesehatan memiliki akses lebih pendek, sedangkan *shelter* di kawasan pesisir membutuhkan jalur lebih panjang akibat posisi geografis dan konfigurasi jaringan jalan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Taran [5] dan Thein et al. [6] yang menunjukkan bahwa lokasi fasilitas dan struktur jaringan berpengaruh terhadap tingkat aksesibilitas layanan kesehatan. Namun, berbeda dari penelitian tersebut yang fokus pada evaluasi akses fasilitas kesehatan secara umum, penelitian ini menempatkan aksesibilitas dalam konteks tanggap darurat banjir dengan mempertimbangkan hubungan langsung antara lokasi evakuasi dan kebutuhan transportasi medis.

4.3. Keterbatasan dan Pengembangan Sistem

Meskipun CFA mampu menghasilkan rute ambulans berbasis jaringan, hasil penelitian ini masih memiliki keterbatasan. Estimasi waktu perjalanan menggunakan asumsi kecepatan ambulans 60 km/jam sehingga menggambarkan waktu

kompresi pada kondisi statistik jaringan. Parameter tersebut belum mempertimbangkan faktor operasional seperti waktu mobilisasi ambulans, proses evakuasi pasien, kepadatan lalu lintas, hambatan simpang, kondisi cuaca, maupun perubahan akses akibat berkumpulnya banjir.

Selain itu, data yang dikumpulkan pada penelitian ini digunakan sebagai konteks spasial dan validasi visual, bukan sebagai penghalang yang mengubah impedansi jaringan. Oleh karena itu, pada kondisi banjir aktual, rute dengan jarak minimum belum tentu menjadi rute paling layak apabila terdapat ruas jalan yang mengalami gangguan akses.

Pengembangan penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada integrasi data dinamis seperti tinggi muka udara, status keterbukaan ruas jalan, lalu lintas waktu nyata, kapasitas layanan rumah sakit, dan posisi ambulans. Pendekatan tersebut memungkinkan pembaruan nilai impedansi secara temporal sehingga model dapat berkembang dari analisis statistik menjadi sistem pendukung keputusan operasional berbasis WebGIS atau aplikasi mobile. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan dasar awal dalam pengembangan sistem ambulans berbasis SIG yang menghubungkan fase evakuasi bencana dengan layanan kesehatan darurat.

5. Kesimpulan

Penerapan *Closest Facility Analysis* berbasis Sistem Informasi Geografis berhasil menentukan 18 rute ambulans dari tempat evakuasi menuju enam rumah sakit rujukan di Kota Banda Aceh. Jarak rute berada pada rentang 0,66–4,49 km dengan rata-rata 2,10 km, sedangkan waktu tempuh teoritis berada pada rentang 40 detik–4 menit 29 detik dengan rata-rata 2 menit 7 detik. Sebanyak 11 rute (61,11%) memiliki jarak tidak lebih dari dua kilometer dan waktu tempuh paling lama dua menit berdasarkan asumsi kecepatan 60 km/jam.

CFA memberikan hasil yang mudah ditelusuri karena menggabungkan peta lintasan dengan nilai jarak dan waktu pada jaringan jalan. Rute terpendek menghubungkan SMP IT Nurul Islah dengan RSUD dr. Zainoel Abidin, sedangkan rute terpanjang menghubungkan Escape Building Ulee Lheue dengan RS Harapan Bunda. Hasil dapat digunakan sebagai dasar awal penyusunan rute rujukan medis dan penempatan ambulans siaga. Penerapan lapangan tetap harus mempertimbangkan lalu lintas, ruas tergenang, kebutuhan klinis pasien, dan kapasitas fasilitas kesehatan secara *real time*.

Pernyataan Penggunaan Artificial Intelligence. Penulis menggunakan Artificial Intelligence (AI) untuk membantu pemeriksaan tata bahasa dan penyuntingan bahasa dalam naskah. AI tidak digunakan untuk melakukan analisis penelitian atau menghasilkan substansi utama penelitian. Seluruh keluaran yang dihasilkan oleh AI telah diperiksa dan diverifikasi oleh penulis. Penulis bertanggung jawab sepenuhnya atas keakuratan, orisinalitas, dan integritas isi artikel.

Pernyataan Kontribusi Penulis. MA berkontribusi dalam konseptualisasi, metodologi, pengumpulan data, analisis penelitian, serta penyusunan naskah. NU berkontribusi dalam pengembangan dan implementasi sistem serta interpretasi hasil penelitian. FJ berkontribusi dalam peninjauan dan penyuntingan naskah. Seluruh penulis telah membaca, meninjau, dan menyetujui versi akhir artikel serta bertanggung jawab atas seluruh aspek penelitian dan publikasi.

Pernyataan Konflik Kepentingan. Penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan yang berkaitan dengan penelitian, kepengarangan, dan publikasi artikel ini.

Pernyataan Pendanaan. Penelitian ini tidak menerima pendanaan khusus dari lembaga pemerintah, komersial, maupun organisasi nirlaba.

Ucapan Terima Kasih. Penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih kepada Program Studi Magister Teknologi Informasi Universitas Malikussaleh, Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) Kota Banda Aceh, Dinas Pekerjaan Umum dan Penataan Ruang (PUPR) Kota Banda Aceh, serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan, terutama dalam menyediakan data spasial dan kontribusi selama proses penyelesaian penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] R. S. Oktari, Syamsidik, R. Idroes, H. Sofyan, and K. Munadi, "City resilience towards coastal hazards: An integrated bottom-up and top-down assessment," *Water*, vol. 12, no. 10, 2020. <https://doi.org/10.3390/w12102823>.
- [2] D. Caroline and A. P. R. Pinem, "Sistem informasi geografis penentuan rute evakuasi kawasan rawan banjir di kabupaten kudu," *J. Sains Inf. Geogr.*, vol. 7, no. 1, p. 46, 2024. <https://doi.org/10.31314/jsig.v7i1.2812>.
- [3] S. Park, G. Lee, and J. O. Kim, "Flood evacuation mapping using a time-distance cartogram," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 9, no. 4, 2020. <https://doi.org/10.3390/ijgi9040207>.
- [4] G. Parajuli, S. Neupane, S. Kunwar, R. Adhikari, and T. D. Acharya, "A gis-based evacuation route planning in flood-susceptible area of siraha municipality, nepal," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 12, no. 7, 2023. <https://doi.org/10.3390/ijgi12070286>.
- [5] A. Taran, "Measuring accessibility to health care centers in the city of al-mafraq using geographic information systems," *Int. J. Geoinformatics*, vol. 19, no. 1, pp. 43–55, 2023. <https://doi.org/10.52939/ijg.v19i1.2499>.
- [6] T. T. Thein, M. Z. Soe, P. V. Rao, and T. Aung, "Geographic information system (gis) in evaluating the accessibility of healthcare facility for patients with colon and rectal carcinoma in the state of kelantan and sabah," *Int. J. Geoinformatics*, vol. 17, no. 5, pp. 193–194, 2021. <https://doi.org/10.52939/ijg.v17i5.2035>.
- [7] A. Strzalka, J. Malicki, and J. Blachowski, "Least-cost-path and closest facility analysis for generating district heating networks on a communal level," *Appl. Sci.*, vol. 14, no. 2, 2024. <https://doi.org/10.3390/app14020763>.
- [8] H. Agung, "Sistem penentuan jarak terpendek berdasarkan data coordinate menggunakan algoritma dijkstra dalam kasus pengantaran barang se-jabodetabek," *J. Sisfokom*, vol. 8, no. 1, pp. 14–23, 2021. <https://doi.org/10.32736/sisfokom.v8i1.587>.
- [9] J. Kubás, J. Ristvej, B. Kollár, K. Petrlová, A. Trličíková, and K. Blažková, "Evacuation transport provision design using network analysis with gis support," *Commun. Sci. Lett. Univ. Zilina*, vol. 27, no. 3, pp. F13–F27, 2025. <https://doi.org/10.26552/com.C.2025.044>.
- [10] R. I. Liperda, Barandika, B. Syahza, B. P. Dewi, M. A. Furqan, and N. L. Rachmawati, "Determination of closest facility tsunami evacuation building using gis heuristic method: A case study of meuraxa district, banda aceh city," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 1, pp. 106–118, 2024. <https://doi.org/10.37373/jenius.v5i1.909>.
- [11] M. Azzanna, "Pembuatan jalur evakuasi banjir di kota banda aceh menggunakan sistem informasi geografis dengan metode closest facility analysis," *J. Sist. Inf. Kaputama*, vol. 9, no. 2, pp. 81–97, 2025. <https://doi.org/10.59697/jsik.v9i2.1014>.
- [12] D. C. Adilang, A. E. Tungka, and F. Warouw, "Pemetaan jalur evakuasi tsunami dengan metode network analyst berbasis sig di kota manado," *J. Spasial*, vol. 9, no. 1, 2022. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/spasial/article/view/41902>.