



Penerapan Algoritma A-Star pada Sistem Informasi Geografis untuk Optimasi Rujukan Pasien Operasi Mata

Dwi Amelia^{1*}, Yoshida Sary²

^{1,2}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}dwiameliaaa@icloud.com, ²yoshidasary@umsu.ac.id

Abstrak

Proses penentuan rumah sakit rujukan bagi pasien operasi mata pada UPTD Rumah Sakit Khusus Mata Provinsi Sumatera Utara masih dilakukan secara manual berdasarkan pertimbangan administratif dan ketersediaan jadwal dokter, tanpa memperhitungkan jarak tempuh dan kondisi jaringan jalan secara objektif, sehingga berpotensi memperpanjang waktu dan biaya perjalanan pasien. Penelitian ini bertujuan mengembangkan Sistem Informasi Geografis (SIG) berbasis web bernama SIPROMATA yang mampu merekomendasikan rumah sakit rujukan operasi mata dengan rute terpendek menggunakan algoritma A-Star (A*). Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan data koordinat enam rumah sakit mata rujukan di Kota Medan, data jaringan jalan dari OpenStreetMap, dan layanan Open Source Routing Machine (OSRM) sebagai sumber nilai biaya aktual $g(n)$, sedangkan nilai heuristik $h(n)$ dihitung menggunakan Heuristic Euclidean Distance (HED). Sistem dibangun menggunakan framework Laravel, basis data MySQL, dan pustaka peta Leaflet.js. Pengujian fungsionalitas dilakukan menggunakan metode Black Box Testing terhadap 30 skenario, sedangkan pengujian akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil perhitungan manual algoritma A* terhadap keluaran sistem pada enam rumah sakit kandidat. Seluruh skenario pengujian fungsional dinyatakan berhasil tanpa kegagalan, dan validasi akurasi menunjukkan kesesuaian 100% antara perhitungan manual dan keluaran sistem. Pada studi kasus pasien dari Jalan Setia Budi, Kecamatan Medan Sunggal, sistem merekomendasikan RS Mata Mencirim sebagai rujukan utama dengan jarak tempuh 0,698 km, estimasi waktu tempuh 2 menit, dan estimasi biaya transportasi Rp3.490. Sistem yang dikembangkan terbukti mampu menghasilkan rekomendasi rujukan yang lebih objektif, cepat, dan terukur dibandingkan proses manual yang selama ini digunakan.

Kata Kunci: Sistem Informasi Geografis, Algoritma A-Star, Rute Terpendek, Rujukan Pasien Mata.

PENDAHULUAN

Kesehatan mata merupakan salah satu aspek kesehatan yang sering kali terabaikan dalam prioritas masyarakat, meskipun dampaknya terhadap kualitas hidup bersifat substansial. Glaukoma, sebagai salah satu penyakit mata kronis dan progresif, ditandai dengan kerusakan saraf optik akibat peningkatan tekanan intraokular, serta dapat menyebabkan kebutaan permanen apabila tidak ditangani sejak dini (Yunard, 2024). Kerusakan saraf optik akibat glaukoma bersifat ireversibel, sehingga kecepatan dan ketepatan proses rujukan pasien ke fasilitas yang memiliki kapasitas tindakan operasi menjadi faktor yang sangat menentukan keberhasilan penanganan (Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2023).

UPTD Rumah Sakit Khusus Mata Provinsi Sumatera Utara merupakan salah satu fasilitas layanan kesehatan mata di Kota Medan yang saat ini belum memiliki peralatan dan sumber daya memadai untuk melakukan tindakan operasi, sehingga seluruh pasien dengan kebutuhan tersebut harus dirujuk ke rumah sakit mata lain yang memiliki kapasitas lebih lengkap. Proses penentuan rumah sakit tujuan rujukan selama ini dilakukan secara manual berdasarkan ketersediaan jadwal dokter dan pertimbangan administratif, tanpa memperhitungkan faktor geografis seperti jarak dan kondisi akses jalan menuju rumah sakit tujuan. Akibatnya, pasien berpotensi dirujuk ke rumah sakit yang berjarak lebih jauh meskipun terdapat rumah sakit lain yang sesungguhnya lebih dekat dan lebih mudah dijangkau, sehingga menambah beban biaya transportasi, waktu tempuh, dan kelelahan pasien selama proses pengobatan.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengkaji penerapan algoritma pencarian rute pada Sistem Informasi Geografis (SIG) untuk berbagai konteks layanan publik. Hart et al. (1968) memperkenalkan algoritma A-Star (A*) yang menggabungkan biaya aktual $g(n)$ dari titik awal dan nilai heuristik $h(n)$ berupa estimasi jarak menuju tujuan, sehingga pencarian rute menjadi lebih terarah dan efisien dibandingkan algoritma penelusuran tanpa heuristik. Kajian literatur sistematis oleh Putri et al. (2026) menunjukkan

bahwa algoritma berbasis heuristik, termasuk A*, semakin banyak diterapkan pada penelitian rute terpendek yang memanfaatkan data jaringan jalan nyata dibandingkan dataset sintetis. Tambun et al. (2022) menerapkan algoritma A* untuk pemetaan rute menuju sekolah dasar berbasis web, sedangkan Yoransa dan Witriyono (2025) mengimplementasikan algoritma A* pada sistem informasi geografis pemetaan rute rumah sakit berbasis Leaflet di Provinsi Bengkulu dan membuktikan bahwa sistem mampu menyajikan jalur tercepat berdasarkan data OpenStreetMap secara akurat. Pada ranah layanan kesehatan berbasis SIG, Matondang dan Zulherry (2026) mengembangkan sistem pendukung keputusan penentuan lokasi pelayanan kesehatan menggunakan metode Rank Reciprocal dan Simple Additive Weighting yang turut memanfaatkan formula Haversine untuk menghitung jarak terhadap fasilitas kesehatan terdekat, sedangkan Rambe dan Martiano (2026) menunjukkan bahwa optimasi rute distribusi berbasis koordinat di Kota Medan mampu menghemat jarak tempuh hingga 29% dibandingkan rute manual. Di sisi lain, pendekatan non-heuristik seperti algoritma Bellman-Ford pada lingkungan fuzzy yang dikembangkan oleh Parimala et al. (2021) terbukti mampu menyelesaikan permasalahan jalur terpendek pada graf kompleks, namun memiliki kompleksitas komputasi yang lebih tinggi dibandingkan algoritma heuristik seperti A* karena melakukan proses relaksasi pada seluruh sisi graf secara berulang.

Meskipun penelitian-penelitian tersebut telah membuktikan efektivitas algoritma A* dan pendekatan berbasis SIG pada berbagai konteks layanan publik dan kesehatan, belum ditemukan penelitian yang secara khusus mengintegrasikan algoritma A* dengan data jaringan jalan riil melalui layanan Open Source Routing Machine (OSRM) untuk menentukan rumah sakit rujukan operasi mata berdasarkan jarak tempuh aktual, sekaligus memvalidasi akurasi melalui perhitungan matematis manual menggunakan formula Heuristic Euclidean Distance (HED) dan konsep penentuan fasilitas terdekat (nearest facility problem). Kebaruan ilmiah penelitian ini terletak pada integrasi SIG, algoritma A*, dan validasi matematis pada studi kasus nyata layanan rujukan pasien operasi mata di UPTD Rumah Sakit Khusus Mata Provinsi Sumatera Utara.

Berdasarkan uraian tersebut, rumusan masalah penelitian ini adalah bagaimana memetakan lokasi pasien menuju rumah sakit rujukan, bagaimana penerapan algoritma A* dalam menentukan rute optimal, serta bagaimana integrasi algoritma tersebut ke dalam sistem rujukan pasien berbasis web. Hipotesis penelitian ini adalah algoritma A* lebih sesuai diterapkan pada studi kasus ini dibandingkan algoritma pencarian rute lain seperti Dijkstra atau Bellman-Ford, karena jaringan jalan yang digunakan memiliki bobot positif berupa jarak tempuh, sehingga fungsi heuristik dapat dimanfaatkan untuk mengurangi jumlah simpul yang dieksplorasi. Tujuan penelitian ini adalah membangun Sistem Informasi Geografis berbasis web yang mengimplementasikan algoritma A* untuk menentukan rute terpendek dan merekomendasikan rumah sakit rujukan operasi mata secara lebih objektif, cepat, dan terukur dibandingkan proses manual yang selama ini digunakan.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode pengembangan sistem (system development) untuk membangun Sistem Informasi Geografis (SIG) rujukan operasi mata berbasis algoritma A*. Tahap penelitian diawali dengan identifikasi masalah melalui observasi dan wawancara di UPTD Rumah Sakit Khusus Mata Provinsi Sumatera Utara, dilanjutkan dengan pengumpulan data koordinat geografis (latitude dan longitude) rumah sakit asal dan enam rumah sakit mata rujukan di Kota Medan, yaitu RS Mata Mencirim, RS Khusus Mata Medan Baru, Rumah Sakit Mata SMEC Medan, RS Mata Prima Vision, Medan Eye Centre, dan Eye Wellness Medan. Data jaringan jalan diperoleh dari OpenStreetMap (OSM) dan diverifikasi menggunakan Google Maps untuk memastikan kesesuaian lokasi dan jarak antar ruas jalan.

Data yang telah dikumpulkan kemudian direpresentasikan ke dalam model graf yang terdiri atas simpul (node) dan sisi (edge) berbobot jarak tempuh. Nilai biaya aktual $g(n)$ diperoleh dari jarak jaringan jalan riil melalui layanan Open Source Routing Machine (OSRM), sedangkan nilai heuristik $h(n)$ dihitung menggunakan formula Heuristic Euclidean Distance (HED) berdasarkan koordinat garis lurus antar titik. Algoritma A* menentukan rute dan rumah sakit rujukan terbaik menggunakan fungsi evaluasi berikut (Hart et al., 1968):

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (1)$$

dengan $g(n)$ merupakan biaya aktual atau jarak jaringan jalan riil yang telah ditempuh dari titik awal menuju simpul n , $h(n)$ merupakan nilai heuristik yang mengestimasi jarak dari simpul n menuju simpul tujuan, dan $f(n)$ merupakan total biaya evaluasi yang digunakan untuk menentukan simpul dengan prioritas eksplorasi tertinggi. Nilai heuristik $h(n)$ dihitung menggunakan rumus Heuristic Euclidean Distance (HED) berikut:

$$d(a,b) = \sqrt{(X_b - X_a)^2 + (Y_b - Y_a)^2} \quad (2)$$

dengan $d(a,b)$ merupakan jarak antara titik a dan b , X merupakan nilai absis (bujur), dan Y merupakan nilai ordinat (lintang) suatu titik. Karena setiap rumah sakit kandidat merupakan tujuan akhir

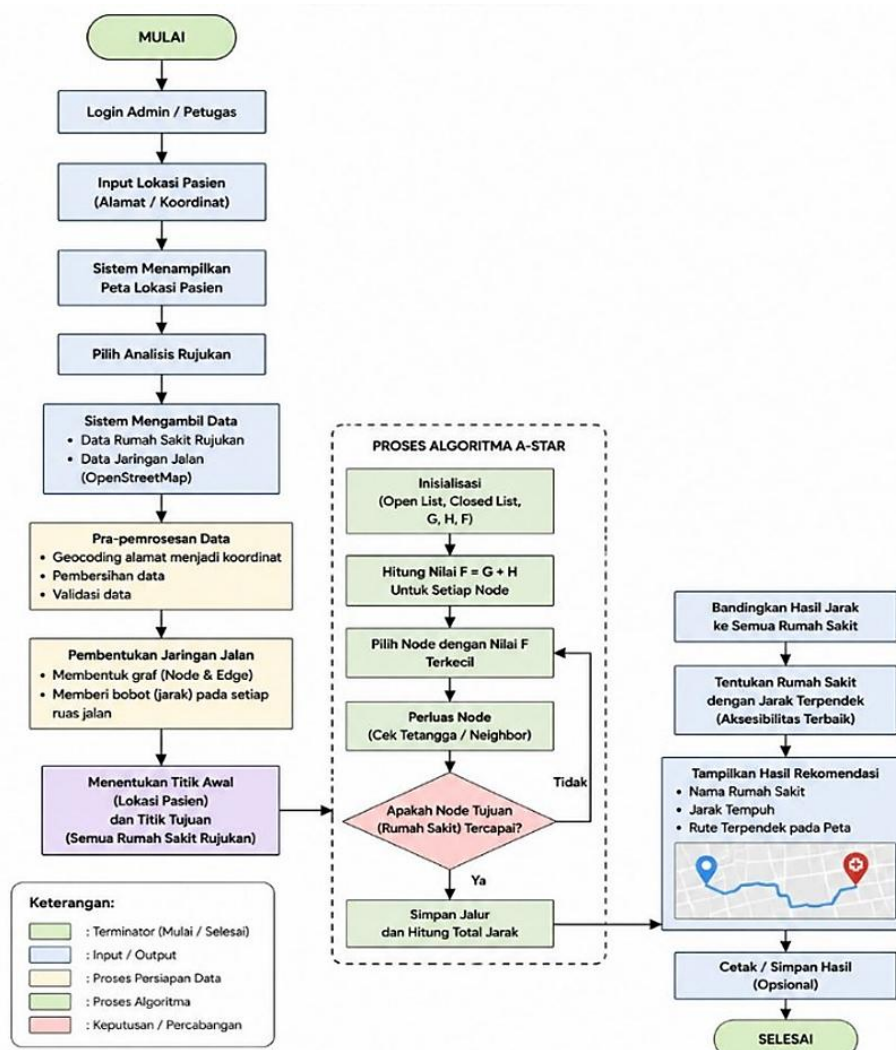
rujukan secara langsung tanpa melalui node perantara pada jaringan jalan, nilai fungsi heuristik ditetapkan sama dengan nol ($h(n) = 0$) pada tahap evaluasi akhir, sehingga nilai $f(n)$ merepresentasikan jarak jalan riil $g(n)$ yang diperoleh dari OSRM. Pemilihan rumah sakit rujukan terbaik mengikuti konsep penentuan fasilitas terdekat (nearest facility problem), dengan simpul tujuan t^* dipilih berdasarkan nilai evaluasi minimum dari himpunan rumah sakit kandidat T :

$$t^* = \operatorname{argmin}_{t \in T} d(s, t) \quad (3)$$

dengan s merupakan simpul awal (lokasi pasien) dan T merupakan himpunan simpul tujuan (rumah sakit rujukan). Sistem kemudian dibangun menggunakan pendekatan berorientasi objek dengan pemodelan Use Case Diagram, Activity Diagram, Sequence Diagram, dan Entity Relationship Diagram (ERD), serta diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman PHP dengan framework Laravel, basis data MySQL, dan pustaka peta Leaflet.js untuk visualisasi lokasi pasien, rumah sakit rujukan, dan rute terpendek pada peta digital interaktif. Pengujian sistem dilakukan dalam dua tahap, yaitu pengujian fungsionalitas menggunakan metode Black Box Testing terhadap 30 skenario yang mencakup proses autentikasi, manajemen data pasien dan rumah sakit, perhitungan rute, serta pelaporan, dan pengujian akurasi yang membandingkan hasil perhitungan matematis manual algoritma A^* dengan keluaran sistem pada studi kasus nyata.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan sebuah sistem informasi geografis berbasis web bernama SIPROMATA (Sistem Informasi Rujukan Operasi Mata) yang mengimplementasikan algoritma A^* untuk merekomendasikan rumah sakit rujukan operasi mata berdasarkan rute terpendek. Sistem dilengkapi modul autentikasi, manajemen data pasien dan rumah sakit rujukan, modul analisis rujukan yang menjalankan komputasi algoritma A^* , visualisasi peta interaktif berbasis Leaflet, riwayat rujukan, serta laporan dan rekapitulasi data. Alur proses sistem usulan disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Sistem Usulan SIPROMATA

Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian fungsionalitas dilakukan menggunakan metode Black Box Testing terhadap 30 skenario yang mencakup proses autentikasi dan otorisasi, manajemen data pasien dan rumah sakit rujukan (CRUD), proses perhitungan rute menggunakan algoritma A*, integrasi dengan layanan OSRM, visualisasi peta, hingga pencetakan dan ekspor laporan. Ringkasan hasil pengujian terhadap sejumlah skenario representatif disajikan pada Tabel 1.

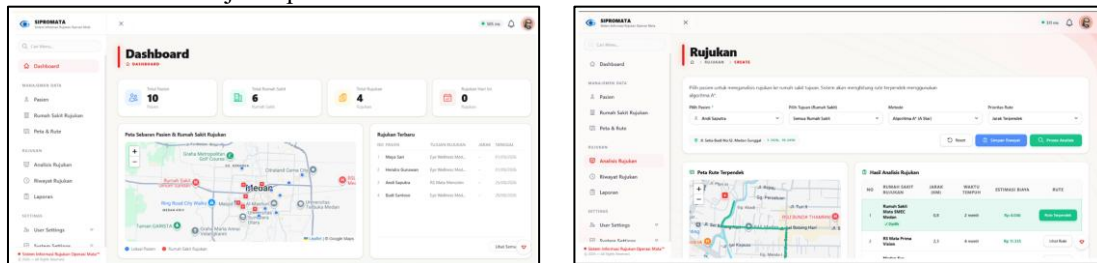
Tabel 1. Ringkasan Pengujian Sistem Menggunakan Black Box Testing

No	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil
1	Login dengan kredensial valid	Sistem mengarahkan pengguna ke halaman Dashboard	Sesuai
2	Login dengan kredensial tidak valid	Sistem menolak akses dan menampilkan peringatan	Sesuai
3	Menambahkan data pasien beserta koordinat geografis	Data tersimpan ke dalam basis data	Sesuai
4	Menjalankan perangkingan rumah sakit menggunakan algoritma A*	Sistem menentukan rumah sakit terbaik dan estimasi biaya	Sesuai
5	Menghitung jarak jaringan jalan melalui integrasi OSRM	Sistem memperoleh jarak dan durasi tempuh riil secara akurat	Sesuai
6	Menampilkan rute pada modul Peta & Rute interaktif	Peta menampilkan marker lokasi dan garis rute (polyline)	Sesuai
7	Mengubah status rujukan pasien	Status diperbarui dan tercatat pada riwayat rujukan	Sesuai
8	Mengekspor data laporan rujukan ke format CSV	Sistem mengunduh berkas sesuai data yang difilter	Sesuai

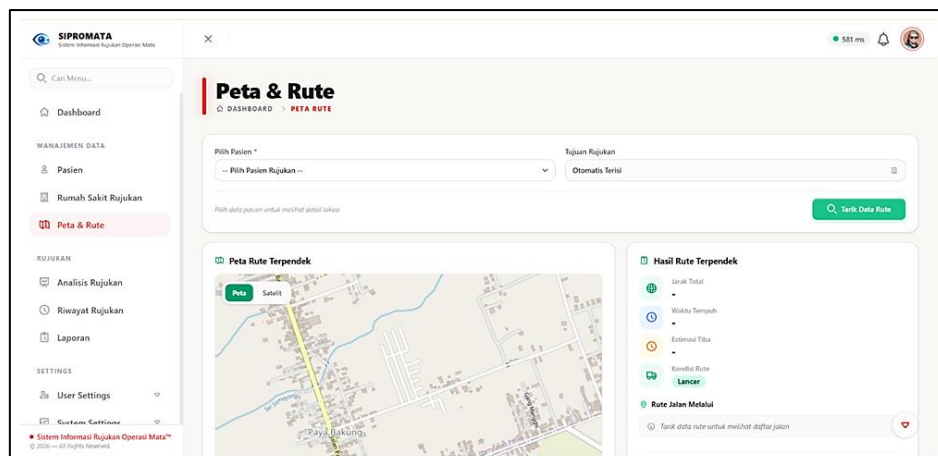
Berdasarkan hasil pengujian Black Box Testing terhadap keseluruhan 30 skenario, seluruh fungsi dan fitur sistem berjalan sesuai dengan yang diharapkan tanpa kegagalan (0 failures/0 errors), sehingga sistem dinyatakan telah memenuhi standar fungsionalitas yang ditetapkan.

Implementasi Antarmuka Sistem

Antarmuka sistem terdiri atas halaman Dashboard yang menampilkan ringkasan statistik serta peta sebaran pasien dan rumah sakit rujukan, halaman Analisis Rujukan yang menjalankan komputasi algoritma A* dan menampilkan peringkat rumah sakit kandidat berdasarkan jarak, waktu tempuh, dan estimasi biaya, serta halaman Peta & Rute yang memvisualisasikan lintasan rute terpendek secara interaktif. Tampilan antarmuka sistem disajikan pada Gambar 2 dan Gambar 3.



Gambar 2. Tampilan Halaman Dashboard dan Analisis Rujukan SIPROMATA



Gambar 3. Visualisasi Peta Rute Terpendek pada Halaman Peta & Rute

Validasi Akurasi Perhitungan Algoritma A*

Validasi akurasi dilakukan untuk membuktikan kesesuaian antara hasil rekomendasi rujukan yang dihasilkan oleh sistem dengan hasil perhitungan matematis manual. Studi kasus pengujian menggunakan data pasien bernama Andi Saputra (RM-000001) yang beralamat di Jalan Setia Budi No.12, Kecamatan Medan Sunggal, dengan koordinat latitude 3,5820000 dan longitude 98,6490000, serta kebutuhan tindakan medis operasi katarak. Data koordinat enam rumah sakit mata rujukan di Kota Medan yang menjadi kandidat tujuan disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Data Koordinat Enam Rumah Sakit Mata Rujukan di Kota Medan

Kode	Nama Rumah Sakit	Alamat	Bujur (X)	Lintang (Y)
RS-1	RS Mata Mencirim	Jl. Sei Mencirim No.77, Babura	98,6518257	3,5806573
RS-2	RS Khusus Mata Medan Baru	Jl. Abdullah Lubis No.67, Merdeka	98,6561872	3,5766436
RS-3	Rumah Sakit Mata SMEC Medan	Jl. Iskandar Muda No.278-280	98,6588151	3,5872000
RS-4	RS Mata Prima Vision	Jl. Pabrik Tenun No.51	98,6568685	3,5983630
RS-5	Medan Eye Centre	Jl. Ir. H. Juanda No.1, Anggrung	98,6681003	3,5745354
RS-6	Eye Wellness Medan	Jl. Gaharu No.12, Gaharu	98,6751988	3,5989213

Seluruh enam rumah sakit lolos tahap penyaringan kandidat (candidate filtering) karena memiliki layanan operasi katarak dan berada dalam radius jangkauan 50 km dari lokasi pasien. Hasil perhitungan nilai heuristik HED, biaya aktual jalan g(n) dari integrasi OSRM, serta nilai evaluasi total f(n) untuk seluruh rumah sakit kandidat disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Evaluasi Fungsi Biaya Algoritma A* pada Seluruh Rumah Sakit Kandidat

Kode	Nama Rumah Sakit	HED h (km)	Jalan g(n) (km)	Total f(n)	Waktu Tempuh	Estimasi Biaya
RS-1	RS Mata Mencirim	0,348	0,698	0,698	2 menit	Rp3.490
RS-2	RS Khusus Mata Medan Baru	0,996	1,376	1,376	4 menit	Rp6.880
RS-3	Rumah Sakit Mata SMEC Medan	1,234	1,685	1,685	5 menit	Rp8.425
RS-4	RS Mata Prima Vision	2,018	3,014	3,014	6 menit	Rp15.070
RS-5	Medan Eye Centre	2,279	4,024	4,024	7 menit	Rp20.120
RS-6	Eye Wellness Medan	3,466	5,751	5,751	8 menit	Rp28.755

Nilai evaluasi f(n) terendah diperoleh RS Mata Mencirim sebesar 0,698 km, sehingga simpul tersebut dipilih sebagai simpul tujuan (goal node) sesuai konsep penentuan fasilitas terdekat pada Persamaan (3). Hasil perhitungan manual ini kemudian dibandingkan dengan keluaran sistem SIPROMATA untuk seluruh enam rumah sakit kandidat, sebagaimana disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Validasi Hasil Perhitungan Manual Algoritma A* dengan Keluaran Sistem

Peringkat	Nama Rumah Sakit	Hasil Perhitungan Manual f(n)	Hasil Keluaran Sistem f(n)	Kesesuaian
1	RS Mata Mencirim	0,698 km (2 menit, Rp3.490)	0,698 km (2 menit, Rp3.490)	Akurat
2	RS Khusus Mata Medan Baru	1,376 km (4 menit, Rp6.880)	1,376 km (4 menit, Rp6.880)	Akurat
3	Rumah Sakit Mata SMEC Medan	1,685 km (5 menit, Rp8.425)	1,685 km (5 menit, Rp8.425)	Akurat
4	RS Mata Prima Vision	3,014 km (6 menit, Rp15.070)	3,014 km (6 menit, Rp15.070)	Akurat
5	Medan Eye Centre	4,024 km (7 menit, Rp20.120)	4,024 km (7 menit, Rp20.120)	Akurat
6	Eye Wellness Medan	5,751 km (8 menit, Rp28.755)	5,751 km (8 menit, Rp28.755)	Akurat

Berdasarkan Tabel 4, seluruh hasil perhitungan manual algoritma A* terbukti identik dengan keluaran yang dihasilkan oleh sistem SIPROMATA, dengan tingkat kesesuaian sebesar 100%. Hal ini

membuktikan bahwa algoritma A* telah terimplementasikan dengan benar, presisi, dan akurat di dalam sistem.

Pembahasan

Hasil komputasi algoritma A* pada skenario pengujian pasien Andi Saputra merekomendasikan RS Mata Mencirim sebagai rumah sakit rujukan terbaik dan tercepat, dengan nilai evaluasi terendah $f(n) = 0,698$ km, durasi perjalanan tersingkat 2 menit, serta estimasi biaya ambulans terendah sebesar Rp3.490. Perbandingan antara jarak garis lurus (HED) dan jarak jaringan jalan aktual (OSRM) pada Tabel 3 membuktikan bahwa seluruh nilai heuristik HED selalu lebih kecil atau sama dengan jarak jalan riil $g(n)$, sehingga memenuhi syarat admissibility yang disyaratkan agar algoritma A* dapat menjamin rute terpendek secara optimal (Hart et al., 1968). Integrasi dengan layanan OSRM turut memastikan bahwa perhitungan rute mempertimbangkan geometri riil jalan raya, termasuk belokan dan tata letak persimpangan, sehingga estimasi waktu dan biaya rujukan yang dihasilkan lebih realistis bagi pasien.

Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian Yoransa dan Witriyono (2025) yang membuktikan bahwa integrasi algoritma A* dengan data OpenStreetMap mampu menyajikan rute rumah sakit yang akurat dan efisien, serta mendukung hasil Matondang dan Zulherry (2026) yang menunjukkan bahwa pemanfaatan jarak berbasis koordinat geografis pada sistem informasi geografis layanan kesehatan menghasilkan rekomendasi yang objektif dan mudah diinterpretasikan oleh pemangku kepentingan. Selain itu, efisiensi rute yang dihasilkan pada penelitian ini sejalan dengan temuan Rambe dan Martiano (2026) yang melaporkan penghematan jarak tempuh hingga 29% melalui optimasi rute berbasis koordinat di Kota Medan, sehingga memperkuat bukti bahwa pendekatan berbasis data spasial dan algoritma heuristik dapat meningkatkan efisiensi penentuan rute dibandingkan metode manual.

Dibandingkan dengan algoritma non-heuristik seperti Bellman-Ford yang diterapkan Parimala et al. (2021) pada permasalahan graf fuzzy, algoritma A* yang digunakan pada penelitian ini terbukti lebih efisien karena hanya mengevaluasi node tujuan akhir tanpa perlu melakukan relaksasi pada seluruh sisi graf secara berulang, sehingga lebih sesuai diterapkan pada kasus rujukan pasien yang menuntut respons cepat. Sistem SIPROMATA yang dikembangkan memiliki sejumlah keunggulan, yaitu objektivitas dan kecepatan keputusan karena menggantikan mekanisme rujukan manual yang subjektif dengan komputasi rute terpendek berbasis data spasial riil, akurasi jaringan jalan nyata melalui integrasi OSRM dan formula Haversine/Euclidean, visualisasi spasial interaktif berbasis Leaflet yang memudahkan tenaga medis melihat titik lokasi pasien dan rumah sakit tujuan, serta mekanisme audit trail yang mencatat setiap perubahan status rujukan untuk keperluan monitoring dan dokumentasi rekam medis.

Meskipun sistem telah berfungsi optimal sesuai tujuan penelitian, terdapat sejumlah keterbatasan yang dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya, antara lain integrasi data lalu lintas secara realtime karena estimasi waktu tempuh saat ini masih menggunakan kecepatan rata-rata jaringan jalan, pembaruan data ketersediaan tempat tidur rumah sakit secara langsung, serta perluasan cakupan wilayah spasial dan jaringan jalan hingga mencakup seluruh kabupaten/kota di Provinsi Sumatera Utara.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa Sistem Informasi Geografis berhasil memetakan lokasi pasien menuju rumah sakit rujukan operasi mata secara interaktif, dengan menampilkan lokasi pasien, lokasi rumah sakit rujukan, serta jaringan jalan dan jalur rujukan dalam bentuk polyline pada peta digital. Algoritma A* berhasil diterapkan untuk menentukan rute optimal berdasarkan jarak terpendek menggunakan fungsi evaluasi $f(n) = g(n) + h(n)$, dengan $g(n)$ sebagai jarak jalan riil dari integrasi OSRM dan $h(n)$ sebagai estimasi jarak menggunakan Heuristic Euclidean Distance. Pada studi kasus pengujian, sistem menghasilkan RS Mata Mencirim sebagai rekomendasi utama dengan jarak rute terpendek 0,698 km dan estimasi waktu tempuh 2 menit, sedangkan validasi perhitungan manual algoritma A* terhadap keluaran sistem menunjukkan tingkat kesesuaian sebesar 100%.

Integrasi algoritma A* ke dalam Sistem Informasi Geografis juga berhasil diterapkan untuk mendukung proses rujukan pasien operasi mata secara menyeluruh, mulai dari pengelolaan data pasien dan rumah sakit rujukan, penyaringan kandidat berdasarkan layanan dan radius jangkauan, perhitungan rute terpendek, hingga visualisasi hasil rekomendasi pada peta digital. Hasil pengujian fungsionalitas menggunakan 30 skenario Black Box Testing menunjukkan bahwa seluruh fungsi sistem berjalan sesuai dengan yang diharapkan tanpa kegagalan. Dengan demikian, sistem SIPROMATA terbukti mampu mengubah proses penentuan rujukan yang sebelumnya dilakukan secara manual menjadi proses yang lebih terstruktur, objektif, berbasis data geografis, dan didukung oleh perhitungan rute terpendek yang akurat menggunakan algoritma A*. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan data lalu lintas dan ketersediaan tempat tidur rumah sakit secara realtime, serta memperluas cakupan wilayah spasial hingga mencakup seluruh Provinsi Sumatera Utara guna meningkatkan jangkauan dan relevansi rekomendasi rujukan yang dihasilkan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada UPTD Rumah Sakit Khusus Mata Provinsi Sumatera Utara atas izin dan dukungan data yang diberikan selama penelitian, serta kepada Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara atas fasilitas dan bimbingan akademik yang diberikan selama proses penyusunan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2022). *Introduction to algorithms* (4th ed.). MIT Press.
- Hart, P. E., Nilsson, N. J., & Raphael, B. (1968). A formal basis for the heuristic determination of minimum cost paths. *IEEE Transactions on Systems Science and Cybernetics*, 4(2), 100–107. <https://doi.org/10.1109/TSSC.1968.300136>
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2023). *Keputusan Menteri Kesehatan Nomor HK.01.07/MENKES/1488/2023 tentang Pedoman Nasional Pelayanan Kedokteran Tata Laksana Glaukoma*. Kementerian Kesehatan RI.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2024). *Peraturan Menteri Kesehatan Nomor 16 Tahun 2024 tentang Sistem Rujukan Pelayanan Kesehatan Perseorangan*. Kementerian Kesehatan RI.
- Matondang, M. A., & Zulherry, A. (2026). Penentuan lokasi pelayanan kesehatan berbasis GIS menggunakan metode Rank Reciprocal dan Simple Additive Weighting. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Scientific Studies*, 4(6), 524–535. <https://doi.org/10.33151/ijomss.v4i6.1141>
- Parimala, M., Broumi, S., Prakash, K., & Karaaslan, F. (2021). Bellman–Ford algorithm for solving shortest path problem of a network under picture fuzzy environment. *Complex & Intelligent Systems*, 7, 2373–2381. <https://doi.org/10.1007/s40747-021-00430-w>
- Putri, R. A., Fatimah, A. N., & Budianita, A. (2026). Systematic literature review pencarian rute terpendek: Tren penelitian, metode, dataset. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 10(1), 957–961. <https://doi.org/10.36040/jati.v10i1.16863>
- Rambe, R. U. A., & Martiano. (2026). Penentuan rute transportasi terpendek pengantaran barang jaminan menggunakan Algoritma Saving Matrix. *Indonesian Journal of Multidisciplinary Scientific Studies*, 4(6), 414–422. <https://doi.org/10.33151/ijomss.v4i6.1128>
- Rosen, K. H. (2019). *Discrete mathematics and its applications* (8th ed.). McGraw-Hill.
- Tambun, J. J. W., Herlawati, & Atika, P. D. (2022). Pencarian jalur terdekat pada pemetaan sekolah dasar dengan Algoritma A-Star (A*) berbasis web. *Journal of Students' Research in Computer Science*, 3(1), 99–108. <https://doi.org/10.31599/8e7aw911>
- Yoransa, V. A., & Witriyono, H. (2025). Implementasi Algoritma A* dalam Sistem Informasi Geografis pemetaan rute rumah sakit berbasis web menggunakan Leaflet. *Jurnal Algoritma*, 22(2), 2340–2350. <https://doi.org/10.33364/algoritma/v.22-2.2397>
- Yunard, A. (2024, 5 Juli). *Faktor risiko glaukoma*. Direktorat Jenderal Kesehatan Lanjutan, Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. https://keslan.kemkes.go.id/view_artikel/3489/faktor-risiko-glaukoma