

IMPLEMENTASI ALGORITMA A* (A - STAR) UNTUK OPTIMASI JALUR BUS LISTRIK DI KOTA MEDAN DENGAN VISUALISASI 2D

Thania Dealva Arsyad, Iwan Agi Berutu, Evelyn Keisha Silalahi, Debi Yandra Niska

Ilmu Komputer, Universitas Negeri Medan
Jalan William Iskandar Pasar V, Medan, Sumatera Utara, Indonesia
thaniadealva.4233250002@mhs.unimed.ac.id

ABSTRAK

Perkembangan teknologi terutama dalam transportasi ramah lingkungan telah menjadi sebuah fokus utama dalam pembangunan kota - kota besar di Indonesia, termasuk Kota Medan. Salah satu solusi - solusi yang mulai diterapkan dari transportasi ramah lingkungan adalah penggunaan bus listrik sebagai media transportasi publik yang efisien dan aman serta rendah emisi. Penggunaan bus listrik bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan polusi udara, serta meningkatkan efisiensi energi dalam sektor transportasi. Adapun permasalahan yang sering muncul dalam sistem transportasi, permasalahan tersebut adalah sebuah ketidak efisienan sebuah rute perjalanan yang menyebabkan beberapa masalah seperti kemacetan, pemborosan energi, dan keterlambatan waktu. Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan algoritma A* (A-Star) untuk mengoptimalkan jalur pergerakan bus listrik yang beroperasi di Kota Medan yang kemudian akan divisualisasikan dalam bentuk 2D map yang diambil dari OSM (*Open Street Map*) pada MATLAB. Hasil penelitian menunjukkan bahwa implementasi algoritma A* (A-Star) berhasil menentukan jalur terpendek berdasarkan representasi *graf* jalan Kota Medan, dengan mempertimbangkan bobot jarak antara simpul serta estimasi heuristik menuju titik tujuan akhir untuk optimasi jalur bus listrik di Kota Medan.

Kata kunci : Algoritma A*, OSM, optimasi jalur, visualisasi 2D, bus listrik

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi terutama dalam transportasi ramah lingkungan telah menjadi sebuah fokus utama dalam pembangunan kota - kota besar di Indonesia, termasuk Kota Medan. Salah satu solusi - solusi yang mulai diterapkan dari transportasi ramah lingkungan adalah penggunaan bus listrik sebagai media transportasi publik yang efisien dan aman serta rendah emisi [1].

Bus listrik sebagai transportasi ramah lingkungan memiliki beberapa keunggulan yang dimana bus listrik memiliki efisiensi penggunaan energi yang rendah, rendah emisi karbon, serta transportasi yang memiliki suara mesin yang lebih senyap jika dibandingkan dengan transportasi berbahan bakar fosil [2].

Namun, dalam penerapan bus listrik sebagai transportasi ramah lingkungan di Kota Medan, masih memerlukan perencanaan sebuah rute yang optimal agar dapat memaksimalkan penggunaan transportasi dalam efisiensi energi serta mengurangi waktu tempuh perjalanan penumpang.

Adapun permasalahan yang sering muncul dalam sistem transportasi, permasalahan tersebut adalah sebuah ketidak efisienan sebuah rute perjalanan yang menyebabkan beberapa masalah seperti kemacetan, pemborosan energi, dan keterlambatan waktu [3].

Oleh karena itu, diperlukan sebuah pendekatan sebuah algoritma yang mampu untuk membantu mencari sebuah rute yang dapat mencari jalur tercepat dan paling efisien. Salah satu algoritma yang sering digunakan untuk perencanaan sebuah rute adalah dengan menggunakan algoritma A* (A-Star), yang dimana algoritma A* (A-Star) dikenal mampu dalam mencari sebuah rute terpendek dengan

mempertimbangkan berbagai variabel yang ada seperti jarak, hambatan, dan estimasi biaya transportasi [4].

Oleh karena itu tujuan dari penelitian ini adalah mengimplementasikan algoritma A* (A-Star) untuk mengoptimalkan jalur pergerakan bus listrik yang beroperasi di Kota Medan yang kemudian akan divisualisasikan dalam bentuk 2D map yang diambil dari OSM (*Open Street Map*) pada MATLAB.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Pada penelitian yang dilakukan Kurniawan [5], yang dimana pada penelitian tersebut menggunakan algoritma A* (A-Star) untuk menentukan sebuah rute dan tarif perjalanan angkutan umum di Kota Medan dengan hasil penelitian yang dilakukan berhasil untuk mengimplementasikan algoritma A* (A-Star) sehingga angkutan umum dapat menentukan titik awal sampai tujuan dengan memilih solusi terbaik yaitu menghasilkan sebuah rute terpendek, sehingga memaksimalkan waktu dan biaya angkutan umum.

Kemudian penelitian yang dilakukan oleh Lubis [6], yang juga mengimplementasikan algoritma A* (A-Star) pada sistem informasi geografis berbasis web untuk menentukan jalur terpendek halte bus transmetro deli yang dimana aplikasi akan meminta lokasi pengguna dan lokasi tujuan yaitu halte yang ingin dituju, kemudian algoritma A* (A-Star) akan melakukan proses setiap *node* yang ada, lalu hasil yang akan ditampilkan adalah halte dengan jarak terpendek dan sistem akan memberitahu pengguna tentang stasiun yang sedang beroperasi atau tidak beroperasi.

Lalu ada juga penelitian yang dilakukan Nuryoso [7], yang dimana pada penelitian yang dilakukan juga

menerapkan algoritma A* (A-Star) untuk menentukan rute terpendek pada rute angkot di Kota Sukabumi yang dimana jumlah trayek angkutan umum pada Kota Sukabumi saat ini sebanyak 19 dengan jalur sebanyak 20 jalur, kemudian algoritma A* (A-Star) akan melakukan pencarian rute terdekat pada rute angkutan umum dan juga dapat melakukan perhitungan jarak tempuh dari titik awal ke titik tujuan.

Luthfita [8] melakukan penelitian dengan mengimplementasikan algoritma A* (A-Star) untuk menentukan tarif minimum berdasarkan jarak terpendek rute armada taksi bandara yang dimana algoritma A* (A-Star) berhasil diterapkan kedalam sistem informasi berbasis geografis untuk menentukan tarif minimum taksi berdasarkan jalur terpendek yang dilalui, hal ini juga sesuai dengan perhitungan manual yang sudah dilakukan, perhitungan yang dilakukan program, dan data yang ada pada lapangan yang kemudian algoritma A* (A-Star) dapat menyelesaikan pencarian rute terpendek untuk menentukan tarif minimum dengan melewati *node - node* dengan hasil optimal dan berdasarkan total nilai cost yang minimum berdasarkan parameter jarak antar *node* dan fungsi heuristik yang digunakan.

Setelah itu, Prasetyo [9] melakukan penelitian dengan menerapkan algoritma A* (A-Star) untuk merancang sebuah sistem informasi *grafis* untuk optimasi rute terpendek distribusi produk yang dimana pada penelitian yang dilakukan menunjukkan bahwa optimasi rute terpendek distribusi produk dapat diwujudkan dalam bentuk *graf* pada maps, dimana setiap *node* yang dibuat baik itu *node* titik cabang, titik toko, ataupun titik persimpangan memiliki biaya sendiri untuk digunakan dalam menghitung nilai heuristik dan kemudian sistem dapat mengurangi waktu distribusi dan biaya operasional secara signifikan dibandingkan dengan metode manual yang digunakan.

2.2. Algoritma A* (A-Star)

Algoritma A* (A-Star) adalah salah satu algoritma yang biasa digunakan dalam menentukan sebuah jalur terpendek pada suatu permasalahan yang ada, yang dimana algoritma ini sering digunakan dikarenakan algoritma ini memiliki kemampuan yang optimal dalam mencari sebuah rute terdekat [10].

Pada algoritma A* (A-Star) terdapat sebuah konsep yang dibagi menjadi dua titik yaitu yang dapat dilewati atau biasanya disebut dengan *Open List* dan titik yang tidak dapat dilewati atau biasanya disebut dengan *Close List*. Secara fungsi, *Close List* berfungsi agar algoritma tidak melakukan sebuah pengecekan kembali pada titik yang telah dilewatinya sehingga proses pencarian yang dilakukan bisa berjalan lebih cepat dan dapat mengurangi sebuah proses pengecekan tak terbatas pada setiap titik atau *node* yang ada [11].

Berikut adalah rumus perhitungan yang dipakai dalam implementasi algoritma A* (A-Star) :

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

Keterangan :

- $f(n)$ adalah total biaya perkiraan dari titik awal ke tujuan melalui simpul n .
- $g(n)$ merupakan biaya sebenarnya dari titik awal ke simpul n .
- $h(n)$ ialah estimasi biaya (heuristik) dari simpul n ke tujuan.

Perhitungan yang terdapat pada algoritma A* (A-Star) menggunakan sebuah fungsi *distance - plus - cost* yang dilambangkan dengan $f(n)$ untuk memilih sebuah urutan kunjungan dalam menentukan *node* yang terdapat pada *graf*. Kemudian *distance - plus - cost* dapat diperoleh melalui penjumlahan dua fungsi, yaitu $h(n)$ dan $g(n)$. Fungsi *distance - cost* dilambangkan dengan $h(n)$ yang dimana fungsi ini merupakan penjumlahan dari biaya (*millage cost*) yang dibutuhkan dari *node* awal ke *node* yang diinginkan. Fungsi kedua adalah fungsi heuristik yang dimana fungsi ini biasanya dilambangkan dengan $g(n)$ yang merupakan nilai jarak yang dihitung dari titik $n + 1$ ke titik yang diinginkan [12].

2.3. OSM (Open Street Map)

OSM atau yang biasa disebut dengan *Open Street Map* adalah sebuah peta digital seluruh dunia yang memiliki sifat bebas, terbuka dan dapat diubah oleh siapapun dikarenakan sifatnya bebas dan dapat diakses dimana saja secara gratis [13].

Peta pada OSM atau *Open Street Map* berasal dari survei GPS, kemudian berasal dari digitalisasi citra udara atau yang biasa disebut dengan satelit, dan sumber publik yang berasal dari data - data geografis yang berisi peta dari seluruh dunia [14].

2.4. Optimasi Jalur

Optimasi merupakan sebuah proses dalam mencari sebuah solusi terbaik dalam sekumpulan alternatif yang tersedia, dengan tujuan untuk memaksimalkan atau meminimalkan suatu fungsi objek tertentu dengan menyelesaikan variabel - variabel yang ada [15].

Salah satu pengaplikasian penting dari optimasi adalah optimasi jalur yang bertujuan untuk menentukan sebuah rute atau jalur yang terbaik dalam suatu jaringan untuk mencapai sebuah tujuan tertentu dengan mempertimbangkan faktor - faktor seperti jarak, waktu tempuh, biaya, dan kapasitas sehingga menguntungkan jalur tersebut diterapkan [16].

2.5. Visualisasi 2D

Visualisasi adalah sebuah proses representasi data atau sebuah informasi dalam bentuk grafis atau gambar untuk mempermudah pemahaman dan analisis dengan mengubah data numerik atau data tekstual menjadi sebuah bentuk visual, pola, tren, dan insight yang tersembunyi dalam sebuah data dapat lebih mudah dipahami dan diinterpretasikan [17].

Visualisasi 2D mengarah kepada representasi data dalam dua dimensi yang biasanya menggunakan

sumbu horizontal (x) dan vertikal (y) yang dimana metode visualisasi 2D digunakan untuk menampilkan sebuah informasi dari hubungan antara dua variabel atau untuk memetakan data dalam bidang datar dengan maksud merepresentasikan informasi agar lebih mudah dipahami [18].

2.6. Bus Listrik

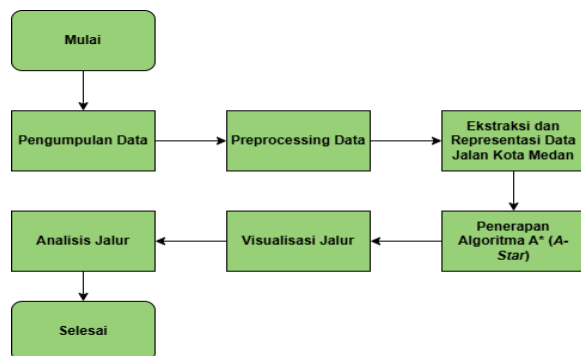
Bus listrik merupakan sebuah transportasi umum yang menggunakan motor listrik sebagai sumber penggerakannya, yang dimana bus listrik ini berbeda dengan bus pada biasanya yang mengandalkan mesin pembakaran internal yang menggunakan bahan bakar fosil [19].

Penggunaan transportasi bus listrik bertujuan untuk mengurangi emisi gas rumah kaca dan juga mengurangi polusi udara yang disebabkan oleh transportasi yang menggunakan bahan bakar fosil yang menyebabkan pencemaran udara di Indonesia [20].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Alur Penelitian

Adapun tahapan penelitian yang dilakukan dalam implementasi algoritma A* (A-Star) untuk optimasi jalur bus listrik di Kota Medan dengan visualisasi 2D yang dapat dilihat pada Gambar 1. yaitu alur penelitian.



Gambar 1. Alur penelitian

3.2. Pengumpulan Data

Pada tahap pertama pada penelitian ini dilakukan pengumpulan data. Data yang akan digunakan pada penelitian ini mencakup peta jalan Kota Medan, baik itu titik - titik pemberhentian bus (halte), serta titik awal dan juga titik tujuan dari rute yang akan diuji. Data diperoleh dari sumber *opensource* yaitu dengan menggunakan OSM (*OpenStreetMap*).

3.3. Preprocessing Data

Tahap yang berikutnya adalah melakukan preprocessing data. Pada tahap preprocessing data dilakukan untuk memastikan bahwa peta yang digunakan itu adalah daerah Kota Medan saja pada *OpenStreetMap*. Setelah memastikan bahwa peta yang digunakan sudah sesuai kemudian dilakukan proses pengecekan jika terdapat beberapa duplikasi titik - titik pada peta dan kemudian akan diperbaiki pada tahap preprocessing data juga.

3.4. Ekstraksi dan Representasi Data Jalan Kota Medan

Kemudian pada tahap selanjutnya adalah melakukan ekstraksi dan representasi data jalan Kota Medan. Pada tahap ini dataset jalan Kota Medan diperoleh dalam bentuk format GeoJson yang berisi geometri dengan tipe *Linearstring* ataupun *Multilinesring* yang dimana simpul (*node*) mewakili titik pertemuan jalan, dan sisi (*edge*) yang merepresentasikan ruas jalan.

3.5. Penerapan Algoritma A* (A-Star)

Selanjutnya, pada tahap ini akan diterapkan algoritma A* (A-Star) untuk menentukan sebuah lintasan atau rute terpendek antara titik awal dan titik tujuan dengan mempertimbangkan satu titik persinggahan di tengah perjalanan, yang dimana algoritma A* (A-Star) akan menggabungkan biaya aktual $g(n)$ dan estimasi biaya dari titik ke satu tujuan $h(n)$.

Rumus utama dalam A* adalah:

$$f(n) = g(n) + h(n)$$

Keterangan:

$f(n)$ = total biaya perkiraan dari titik awal ke tujuan melalui simpul n

$g(n)$ = biaya sebenarnya dari titik awal ke simpul n

$h(n)$ = estimasi biaya (heuristik) dari simpul n ke tujuan

Alur kerja algoritma A* (A-Star) dalam penelitian ini dimulai dari node awal. Algoritma kemudian menghitung nilai $f(n) = g(n) + h(n)$ untuk setiap node yang sedang dievaluasi. Setelah itu, algoritma akan memilih node dengan nilai $f(n)$ terkecil, lalu algoritma menandai node tersebut sebagai telah dikunjungi, dan mengulangi proses tersebut. Proses ini akan berlanjut hingga algoritma mencapai node tujuan atau seluruh node telah dievaluasi.

Dalam algoritma A*, Euclidean Distance digunakan sebagai fungsi heuristik $h(n)$. Artinya, ia memberikan perkiraan jarak tercepat dari satu simpul (node) ke tujuan tanpa mempertimbangkan hambatan atau rintangan. Karena bentuknya yang admissible (tidak melebihi-lebihkan), ini menjamin A* akan menemukan jalur terpendek.

Rumus Euclidean Distance adalah:

Jika ada 2 titik:

- Titik A: (x_1, y_2)
- Titik B: (x_2, y_2)

Maka rumus Euclidean Distance adalah:

$$h(n) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

3.6. Visualisasi Jalur

Lalu tahap berikutnya adalah tahap visualisasi jalur pada aplikasi MATLAB, pada tahap ini perhitungan algoritma A* (A-Star) yang telah dijalankan pada MATLAB yang dimana akan menentukan gambaran spasial yang informatif

terhadap jalur yang telah dipilih serta membantu dalam memudahkan analisis dari sisi pengguna.

3.7. Analisis Jalur

Lalu tahap terakhir adalah tahap analisis jalur, pada tahap ini dilakukan analisis terhadap jalur yang telah dihasilkan berdasarkan gambaran peta OSM atau *Open Street Map* pada MATLAB dengan menganalisis hasil jalur yang dihasilkan, baik itu dari segi efisiensi jarak, jumlah simpul yang dilalui, hingga waktu tempuh estimasi yang bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas algoritma A* (A-Star).

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil implementasi algoritma A* (A-Star) untuk optimasi jalur bus listrik di Kota Medan, telah diperoleh sebuah hasil yang dapat dilihat pada visualisasi 2D yang dimana simpul dan ruas jalan direpresentasikan secara jelas.

4.1. Ekstraksi dan Representasi Data Jalan Kota Medan

Dataset dari jalan Kota Medan yang telah diperoleh dalam format GeoJson sebelumnya yang berisi fitur - fitur geometri dengan tipe *Linestring* dan juga *Multilinestring*. Kemudian proses parsing akan dilakukan terhadap setiap elemen - elemen fitur untuk mengekstraksi seluruh koordinat jalan yang kemudian akan dikonversi menjadi representasi *graf*. Yang dimana dalam hal ini, setiap simpul (*node*) akan merepresentasikan satu titik koordinat geografis yang dinyatakan dalam lintang dan bujur, sedangkan setiap sisi (*edge*) akan merepresentasikan hubungan langsung antar dua simpul dengan bobot berupa jarak antar titik. Kemudian transformasi data akan menghasilkan sebuah *graf* berbobot tidak memiliki arah yang merepresentasikan jaringan jalan Kota Medan secara spasial.

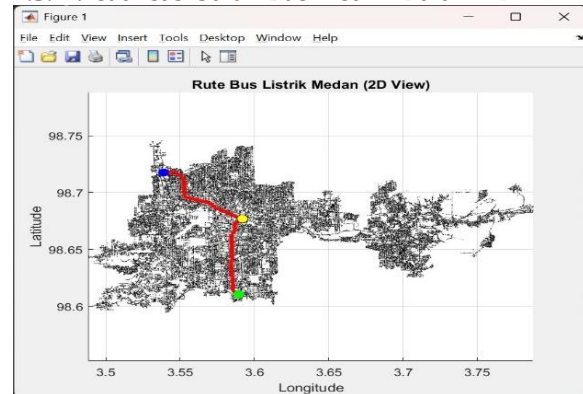
4.2. Penerapan Algoritma A* (A-Star)

Penerapan algoritma A* (A-Star) untuk menentukan sebuah rute terpendek dari titik awal menuju ke titik tujuan, dengan mempertimbangkan satu titik persinggahan di tengah - tengah perjalanan, yang dimana rute atau jalan yang diambil sebanyak tiga titik yang penting di Kota Medan, yaitu titik awal adalah Terminal Pinang Baris, kemudian titik tengah adalah Lapangan Merdeka, lalu titik akhir adalah Terminal Amplas. Setelah menentukan 3 titik yang akan dicari rute jalurnya, kemudian algoritma A* (A-Star) akan memanfaatkan kombinasi dari biaya aktual $g(n)$ dan estimasi biaya dari titik saat ini menuju ke tujuan $h(n)$, dimana estimasi diperoleh dengan melalui heuristik jarak. Jalur yang dihasilkan dibagi menjadi dua segmen yaitu :

- Pinang Baris → Lapangan Merdeka
- Lapangan Merdeka → Terminal Amplas

Kedua segmen jalur ini kemudian akan dilakukan penggabungan untuk membentuk satu jalur lengkap dari awal hingga akhir.

4.3. Visualisasi Jalur Bus Listrik Dalam 2D



Gambar 2. Visualisasi jalur optimal bus listrik kota medan

Pada gambar 2 dapat dilihat bahwa berdasarkan hasil implementasi algoritma A* (A-Star) diperoleh visualisasi rute bus listrik kota medan yang ditampilkan dalam format 2D (dimensi) dengan menggunakan MATLAB sebagaimana terlihat pada gambar 2. Gambar visualisasi jalur bus listrik memperlihatkan jaringan jalan Kota Medan dalam bentuk *graf*, dimana simpul dan ruas jalan direpresentasikan oleh garis - garis hitam tipis yang membentuk seluruh struktur jaringan jalan. Rute optimal yang dihasilkan dari algoritma A* (A-Star) akan divisualisasikan dalam bentuk garis merah tebal, yang menghubungkan titik awal, titik pertengahan dan sampai titik tujuan akhir. Dalam visualisasi pada gambar 2 terdapat tiga titik yang penting yaitu :

- Titik hijau (Pinang Baris), yang menunjukkan lokasi awal perjalanan bus listrik.
- Titik kuning (Lapangan Merdeka), yang mengindikasikan simpul yang dilalui, seperti simpang besar atau halte utama dalam sistem transportasi.
- Titik biru (Terminal Amplas), merupakan lokasi akhir atau tujuan rute.

Visualisasi yang ditampilkan menggunakan koordinat lintang dan bujur sebagai sumbu, serta disertai skala dan sistem *grid* agar mempermudah pembacaan posisi spasial.

4.4. Analisis Jalur Dan Kompleksitas

Implementasi algoritma A* (A-Star) berhasil menentukan jalur terpendek berdasarkan representasi *graf* jalan Kota Medan, dengan mempertimbangkan bobot jarak antara simpul serta estimasi heuristik menuju titik tujuan. Jalur yang dihasilkan menghindari area yang memiliki konektivitas yang cukup rendah dan secara otomatis akan memilih ruas - ruas dengan keterhubungan optimal yang menunjukkan bahwa sistem telah berhasil menyesuaikan jalur terhadap kepadatan jaringan jalan dan menghindari ruas yang tidak efisien berdasarkan jarak yang menggabungkan dua hasil jalur dari titik awal ke titik tengah dan dari titik tengah menuju ketujuan akhir untuk optimasi jalur bus listrik di Kota Medan.

4.5. Pengujian Aplikasi

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa algoritma A* yang digunakan dalam sistem dapat secara akurat menentukan rute tercepat dari titik awal menuju titik tujuan, melalui titik tengah yang ditentukan. Dalam hal ini, pengujian difokuskan pada skenario perjalanan dari Terminal Pinang Baris menuju Terminal Amplas dengan melewati Lapangan Merdeka sebagai titik tengah. Aplikasi yang dibangun membaca data jaringan jalan dari file medan_roads.geojson, lalu mengubah informasi tersebut menjadi representasi graf berupa simpul (nodes) dan sisi (edges) yang masing-masing mewakili titik koordinat dan hubungan antar jalan.

Setelah data peta dimuat, fungsi A* dijalankan dua kali, yaitu pertama untuk mencari jalur dari Terminal Pinang Baris ke Lapangan Merdeka, dan kedua dari Lapangan Merdeka ke Terminal Amplas. Hasil dari pencarian rute ini disimpan dalam file ruteData1.mat, dan kemudian divisualisasikan menggunakan script visualize2D.m. Dalam tampilan visual 2D tersebut, seluruh jaringan jalan Kota Medan ditampilkan menggunakan garis hitam, sedangkan rute optimal hasil algoritma A* ditampilkan dalam warna merah. Titik awal diberi penanda berwarna hijau, titik tujuan berwarna biru, dan titik tengah ditandai dengan warna kuning.

Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa aplikasi mampu menentukan jalur dengan tepat dan menampilkannya secara visual tanpa adanya kesalahan atau hambatan. Rute yang dihasilkan mengikuti jalur terpendek berdasarkan estimasi jarak antar simpul, yang dihitung menggunakan metode heuristik Euclidean. Pengujian ini membuktikan bahwa algoritma A* yang diimplementasikan bekerja secara efektif dan mampu menangani data spasial yang kompleks seperti peta jalan Kota Medan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penelitian ini telah berhasil merancang representasi jaringan jalan Kota Medan ke dalam bentuk *graf* berbasis data spasial yang diperoleh pada GeoJson dan juga menerapkan algoritma A* (A-Star) dalam menentukan sebuah jalur terpendek bagi rute bus listrik yang dimana titik awalnya adalah Pinang Baris menuju titik tujuan yaitu terminal Amplas melalui titik transit yaitu Lapangan Merdeka dengan mengimplementasikan algoritma A* (A-Star) yang terbukti mampu menghasilkan rute yang cukup efisien dalam mengoptimalkan jalur pergerakan bus listrik yang beroperasi di Kota Medan dengan menampilkan visualisasi hasil dalam bentuk peta dua dimensi pada MATLAB.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar memanfaatkan algoritma A*(A-Star) tidak hanya untuk mempertimbangkan sebuah jarak tetapi juga dapat untuk mengintegrasikan data lalu lintas secara *real - time* agar rute yang diperoleh dapat lebih adaptif dengan kondisi yang terjadi di lapangan untuk

mengoptimalkan jalur pergerakan bus listrik yang beroperasi di Kota Medan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Faturrochman and T. H. Yaasiin, "Efektivitas Subsidi Kendaraan Listrik terhadap Perkembangan Industri Otomotif dalam Mewujudkan Program Making Indonesia 4.0," *J. Environ. Econ. Sustain.*, vol. 1, no. 3, pp. 1–17, 2024, doi: 10.47134/jees.v1i3.355.
- [2] N. G. G. Siboro and S. Ginting, "Pengaruh Kualitas Pelayanan Bus Listrik Terhadap Minat Masyarakat Kota Medan dalam Menggunakan Transportasi Umum," *J. Soc. Sci. Res.*, vol. 5, no. 2, pp. 732–745, 2025, doi: 10.31004/innovative.v5i2.18150.
- [3] R. Amelia, V. S. Meliala, S. N. Harahap, M. H. Al-majid, and P. Harliana, "OPTIMALISASI RUTE TRANSPORTASI MENGGUNAKAN ALGORITMA GRAF (STUDI KASUS : JARINGAN TRANSPORTASI PERKOTAAN)," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 6, pp. 12625–12632, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i6.11996.
- [4] Z. Arfadhillah and Y. Akbar, "Implementasi Algoritma A* (A-Star) untuk mencari Rute Tercepat dari Bandara Soekarno Hatta ke Destinasi Kota Tua Jakarta," *J. Indones. Manaj. Inform. dan Komun.*, vol. 5, no. 3, pp. 3020–3042, 2024, doi: 10.35870/jimik.v5i3.1006.
- [5] R. K. R, A. H. Hasugian, and P. Hanifah, "Penentuan Rute Dan Tarif Perjalanan Angkutan Umum Di Kota Medan Menggunakan Algoritma A*," *J-SISKO TECH (Jurnal Teknol. Sist. Inf. dan Sist. Komput. TGD)*, vol. 6, no. 1, p. 135, 2023, doi: 10.53513/jsk.v6i1.7402.
- [6] M. Alfaraizi Lubis and M. Alda, "Implementasi Algoritma A* (A-Star) Pada Sistem Informasi Geografis Berbasis Web Untuk Menentukan Jalur Terpendek Halte Bus Transmetro Deli," *J. Sci. Soc. Res.*, vol. 4307, no. 2, pp. 758–764, 2024, doi: 10.54314/jssr.v7i2.1837.
- [7] Y. H. Nuryoso, Pradjoko, and Lelah, "Penerapan Algoritma A* pada Pencarian Rute Terpendek pada Rute Angkot Di Kota Sukabumi," *J. Sarj. Tek. Inform.*, vol. 8, no. 1, pp. 21–35, 2022, doi: 10.34001/jister.v2i2.395.
- [8] D. Luthfita, Pristiwanto, and S. Aripin, "Implementasi Algoritma A* Dalam Menentukan Tarif Minimum Berdasarkan Jarak Terpendek Rute Armada Taksi Bandara," *J. Informatics Manag. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 1, pp. 43–47, 2022, doi: 10.47065/jimat.v2i1.147.
- [9] F. T. Prasetyo and A. W. Utami, "Rancang Bangun Sistem Informasi Geografis Untuk Optimasi Rute Terpendek Distribusi Produk Dengan Algoritma A-Star(Studi Kasus UD Ali Berkah)," *JIESBI (Journal Emerg. Inf. Syst. Bus. Intell.)*, vol. 05, no. 03, pp. 181–190, 2024.
- [10] M. N. Kafi, A. Id Hadiana, and H. Ashaury,

- “Penentuan Rute Tercepat Untuk Responden Pertama Menggunakan Algoritma a* (a-Star),” *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.)*, vol. 8, no. 4, pp. 7914–7923, 2024, doi: 10.36040/jati.v8i4.10492.
- [11] Y. Mutsaqov, Ativ, Muhammad Fernando and D. A. Megawaty, “Penerapan Algoritma A-Star Pada Aplikasi Pencarian Lokasi Foto Berbasis Android,” *TEKNOINFO*, vol. 8, no. 1, pp. 39–52, 2020, doi: 10.33365/jti.v14i1.509.
- [12] E. Sumantri and S. Hidayattullah, “Penerapan Algoritma A*Star Untuk Mencari Rute Terpendek Dari Kemayoran Ke Destinasi Monumen Nasional (MONAS),” *J. Sains dan Teknol.*, vol. 5, no. 2, pp. 673–680, 2023, doi: 10.55338/saintek.v5i2.1432.
- [13] D. Yusuf and S. Supriyadi, “Penerapan Sistem Kehadiran Mahasiswa Berbasis Web Menggunakan Openstreetmap,” *Nuansa Inform.*, vol. 16, no. 2, pp. 147–153, 2022, doi: 10.25134/nuansa.v16i2.6292.
- [14] G. C. Nusantara and B. G. Dewanto, “Analisis Potensi Tenaga Surya Pada Permodelan Bangunan Tiga Dimensi Berdasarkan Data Open Street Map (Studi Kasus: Universitas Gadjah Mada Yogyakarta),” *Elipsoida J. Geod. dan Geomatika*, vol. 3, no. 01, pp. 38–45, 2020, doi: 10.14710/elipsoida.2020.7757.
- [15] R. Kaban and D. J. M. Sembiring, “Sistem Pendukung Keputusan dengan Linear Programming untuk Optimasi Media Promosi,” *JUKI J. Komput. dan Inform.*, vol. 6, no. 2, pp. 117–129, 2024.
- [16] A. Everd, D. Habanono, A. Witjaksono, and M. C. Endarwati, “OPTIMALISASI JALUR PENGANGKUTAN SAMPAH DI KOTA KUPANG (OPTIMIZATION OF WASTE TRANSPORT TRACKING IN KUPANG CITY)”.
- [17] H. R. Saragih and A. A. Wilasittha, “IMPLEMENTASI TABLEAU DALAM MEMVISUALISASIKAN DATA UNTUK OPTIMALISASI KEPUTUSAN KEUANGAN DALAM PRAKTIK AKUNTANSI,” *J. Akutansi Dan Keuang. Methodist*, vol. 8, no. 2, pp. 140–152, 2024, doi: 10.46880/jsika.Vol8No2.pp140-152.
- [18] S. Abdul Hakim and D. Toresa, “Rancang Bangun Visualisasi 2D Untuk Monitoring Data Penerimaan Mahasiswa Baru Menggunakan Metode Treemap Design and Build a 2D Treemap Visualization for Monitoring New Student Admission Data,” *JITaCS J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, pp. 37–43.
- [19] Audrey Ramadhina and Fatma Ulfatun Najicha, “Regulasi Kendaraan Listrik di Indonesia Sebagai Upaya Pengurangan Emisi Gas,” *J. Huk. to-ra Huk. Untuk Mengatur dan Melindungi Masy.*, vol. 8, no. 2, pp. 201–208, 2022, doi: 10.55809/tora.v8i2.126.
- [20] R. Z. Akbar, I. Haryanto, and G. D. Haryadi, “Analisis Stabilitas Belok Bus Listrik Medium Dengan Variasi Kecepatan Dan Kondisi Jalan,” *J. Tek. Mesin*, vol. 9, no. 2, pp. 261–272, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jtm/article/view/35783>