

Implementasi Algoritma A-Star dalam Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Kota Malang

Riyan Fahmi Syihabuddin, Mohammad Nafie Jauhari, Muhammad Khudzaifah, Hisyam Fahmi

Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim
Malang, Indonesia

ryanfahmi8991@gmail.com, nafie.jauhari@uin-malang.ac.id, khudzaifah@uin-malang.ac.id,
hisyam.fahmi@uin-malang.ac.id

Abstrak

Berwisata menjadi salah satu kebutuhan setiap orang untuk merelaksasikan pikiran dari kesibukan yang dijalani di setiap harinya. Salah satu kota di Jawa Timur yang menjadi tempat primadona untuk berwisata adalah Kota Malang. Kota ini memiliki kurang lebih 43 destinasi wisata. Biasanya wisatawan yang ingin berkunjung tidak hanya ke salah satu tempat, namun beberapa tempat. Akibatnya dibutuhkan sebuah bantuan untuk menentukan destinasi mana saja yang harus dikunjungi terlebih dahulu agar perjalanan berwisata mereka menjadi efektif. Proses pencarian rute terpendek pada penelitian ini menggunakan Algoritma A-Star, salah satu algoritma BFS yang dalam prosesnya sangat mempertimbangkan nilai heuristik. Proses pengujian rute terpendek dilakukan dengan memilih titik awal, kemudian memilih beberapa lokasi wisata. Selanjutnya akan dicari rute terpendek menggunakan algoritma A-star pada setiap destinasi, kemudian dipilih destinasi mana yang akan dikunjungi pertama. Begitu pun seterusnya sampai destinasi terakhir. Keefektifan rute melibatkan perbandingan dengan rute yang disajikan oleh *Google maps*. Berdasarkan hasil 30 kali percobaan pada beberapa destinasi yang bersifat menyeluruh, didapatkan hasil bahwa rata-rata pencarian rute menggunakan algoritma A-Star adalah 44,17% lebih pendek dibandingkan yang tersaji pada *google maps*. Hal ini dikarenakan keunikan dari algoritma di mana terdapat nilai heuristik dan penyeleksian pada tiap destinasi sehingga menjadikan rute lebih efektif.

Kata Kunci: heuristik; *list* tutup; *list* buka; Euclid, a-star.

Abstract

Traveling is one of the needs of everyone to relax the mind from the busyness that is lived every day. One of the cities in East Java which is a prima donna for traveling is Malang. The city has approximately 43 tourist destinations. Usually, tourists who want to visit not only one place, but several places. generate assistance in deciding which destinations to visit first in order for their trip to be effective. The shortest search process in this study uses the A-Star Algorithm, one of the BFS algorithms which in the process really considers the heuristic value. The process of testing the shortest route is done by selecting a starting point, then selecting several tourist locations. Next, the shortest route will be searched using the A-star algorithm at each destination, then which destination will be visited first. And so on until the final destination. The effectiveness of the route which involves comparison with the route presented by google maps. Based on the results of 30 experiments on several comprehensive destinations, it was found that the average route search using the A-Star algorithm was 44.17% shorter than that presented on google maps. This is due to the uniqueness of the algorithm in which there is a heuristic value and selection for each destination so as to make the route more effective.

Keywords: heuristics; closed lists; open lists; Euclid, a-star.

PENDAHULUAN

Pertumbuhan destinasi wisata Kota Malang mengalami kenaikan tiap tahun. Hal ini ditunjukkan oleh data kunjungan wisatawan baik domestik maupun mancanegara setiap tahunnya yang meningkat [1]. Kurangnya potensi wisata alam menjadikan Pemerintah Kota Malang berpikir bagaimana cara menciptakan pariwisata yang menjadi kebutuhan serta inspirasi bagi banyak kota di Indonesia. Salah satu upaya pemerintah adalah memperbanyak kampung tematik. Namun, banyak destinasi wisata yang telah dibuat tidak sebanding dengan informasi bagaimana cara mengakses destinasi tersebut.

Permasalahan penentuan akses atau rute suatu perjalanan erat kaitannya dengan Teori Graf. Graf merupakan pasangan terurut dari himpunan titik $V(G)$ dan himpunan sisi $E(G)$ yang menghubungkan beberapa titik atau yang disebut dengan *edge* [2]. Kajian ilmu ini sering diaplikasikan dalam berbagai bidang, contohnya adalah penentuan jadwal sebuah kegiatan, penentuan warna daerah peta, penentuan aliran listrik dan lain sebagainya. Hubungan kajian ilmu ini dengan permasalahan destinasi wisata Kota Malang adalah tentang peta wisata Kota Malang. Titik-titik destinasi wisata Kota Malang dapat dijadikan titik-titik dari sebuah graf yang kemudian dari titik-titik tersebut dapat dihubungkan. Dengan menghubungkan titik-titik tersebut akan dicari solusi bagaimana ketika diambil sembarang titik, akan ditemukan rute terpendek menuju destinasi wisata yang diinginkan. Terdapat banyak algoritma dalam menentukan rute terpendek, salah satunya adalah algoritma *A-star*.

Algoritma *A-star* merupakan perluasan algoritma Dijkstra, namun algoritma ini sangat dipengaruhi oleh nilai heuristik. Nilai heuristik adalah nilai yang diperoleh dari menarik garis lurus dari suatu titik yang dilewati menuju titik yang menjadi tujuan. Pertimbangan nilai heuristik dalam penentuan jalur ini merupakan salah satu kelebihan yang dimiliki oleh algoritma ini. Nilai heuristik digunakan dengan tujuan untuk mempersempit ruang pencarian. Metode pencarian *A-star* menghasilkan jalur optimal mulai dari tempat awal menuju tempat yang menjadi tujuan. Metode ini berdasarkan formula:

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

Keterangan:

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

$g(n)$ = biaya perjalanan

$f(n)$ = solusi biaya estimasi termurah simpul n untuk mencapai tujuan.

$h(n)$ ditentukan dengan melakukan perhitungan dengan rumus *Heuristic Euclidean Distance*. Berikut adalah rumus dari *HED* di mana a dan b merupakan kedudukan dua titik yang akan dihitung:

$$d(a, b) = \sqrt{(x_b - x_a)^2 + (y_b - y_a)^2} \quad (2)$$

Keterangan :

$d(a, b)$ = jarak antara titik a dan b

x = nilai absis suatu titik

y = nilai ordinat suatu titik

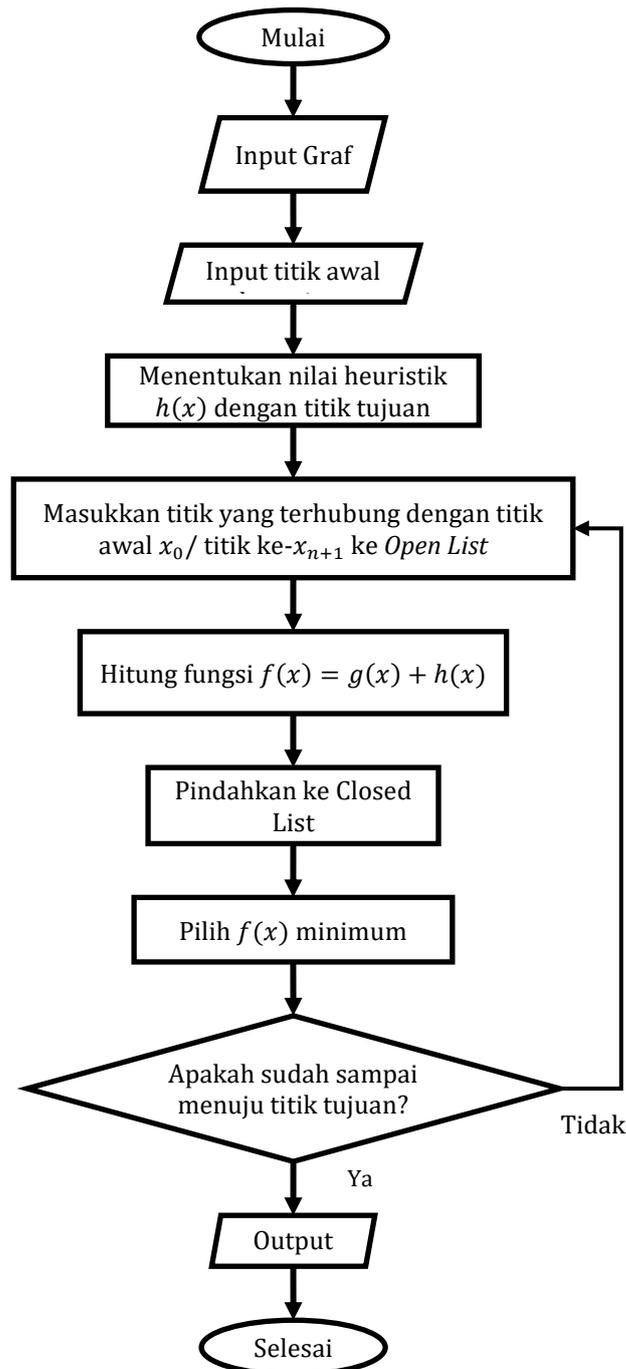
Semakin akurat nilai heuristik yang digunakan, semakin sedikit perulangan yang akan dilakukan oleh algoritma *A-star* sehingga semakin cepat dijalankan. Jika nilai heuristik yang ditemukan tepat (selalu mengembalikan jarak rute minimum antara dua simpul sangat tepat), maka *A-star* akan menunjukkan pada hasil pencarian yang tepat sehingga algoritma akan menjadi $O(p)$, di mana p adalah jumlah langkah dalam *path* (rute). Penentuan nilai heuristik tepat atau tidaknya tergantung pada apakah heuristik tersebut terlalu rendah atau terlalu tinggi.

Beberapa terminologi dasar yang terdapat pada algoritma *A-star* adalah:

1. *Starting point* adalah sebuah terminologi untuk posisi awal sebuah titik.
2. A adalah simpul yang sedang dijalankan dalam algoritma pencarian rute terpendek.

3. Simpul adalah petak-petak kecil sebagai simbol dari daerah *pathfinding*.
4. *Open list* adalah tempat penyimpanan data simpul yang dapat diakses dari titik awal maupun simpul yang sedang dijalankan.
5. *Closed list* adalah tempat penyimpanan data simpul sebelum *A* yang merupakan bagian dari jalur terpendek.
6. Harga (F) adalah nilai yang diperoleh dari proses penjumlahan, nilai g merupakan jumlah nilai tiap simpul dalam jalur terpendek dari titik awal ke A , dan H adalah jumlah perkiraan nilai dari sebuah simpul ke simpul tujuan.
7. Simpul tujuan yaitu simpul yang menjadi tempat akhir perjalanan.

Diagram alir Algoritma A-Star ditunjukkan oleh Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart A-Star

METODE PENELITIAN

Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang terdiri antara dua kategori. Berikut merupakan rincian kategori tersebut:

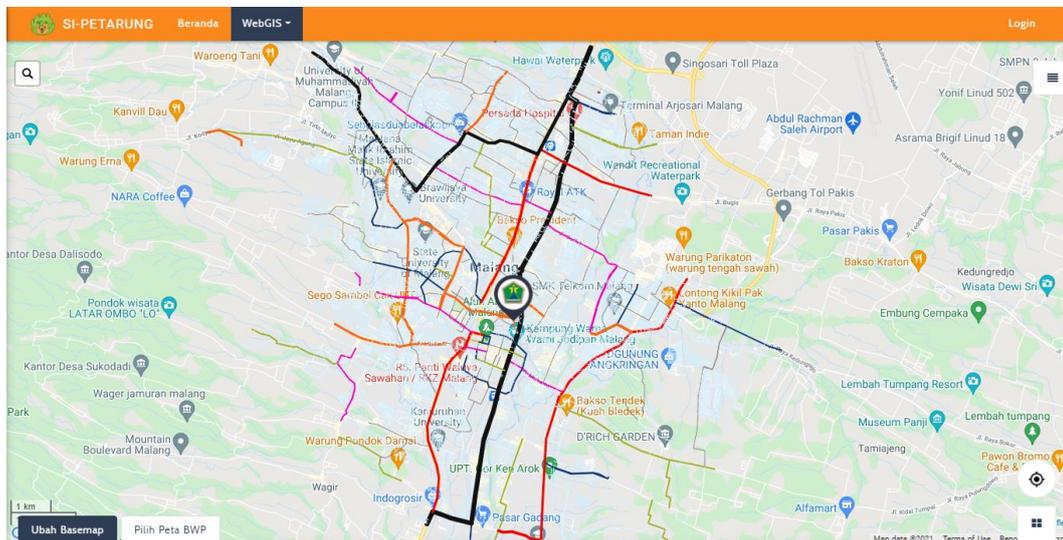
1. Data Titik Wisata

Data titik wisata ini bersumber dari laman website Disporapar Kota Malang dan buku panduan Pekandayu Kota Malang. Data tersebut berjumlah 43 titik dengan rincian sebagai berikut:

- a. 11 wisata *heritage* (Seni dan Budaya)
- b. 14 wisata taman
- c. 9 Kampung Tematik
- d. 7 wisata religi
- e. 2 wisata air/ hiburan

2. Data Titik Persimpangan Dan Jalan

Data ini bersumber dari laman Dinas Tata Ruang Kota Malang. Dari laman tersebut diperoleh data berupa 236 titik persimpangan pada 624 jalan utama beserta data bobotnya. Jenis jalan utama yang dijadikan data ini adalah jalan kolektor dan jalan arteri



Gambar 2. Peta Jalan Kota Malang

Langkah-langkah Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari enam langkah. Langkah-langkah tersebut adalah sebagai berikut:

a) Peninjauan Langsung

Langkah pertama adalah mengamati langsung obyek yang akan menjadi bahan penelitian. Pada penelitian ini ada beberapa aspek mulai dari titik lokasi yang akan dijadikan sebuah simpul graf, rute yang akan dijadikan sebagai edge pada graf, dan juga mengamati apakah *edge* tersebut satu arah atau dua arah.

b) Pengumpulan Data

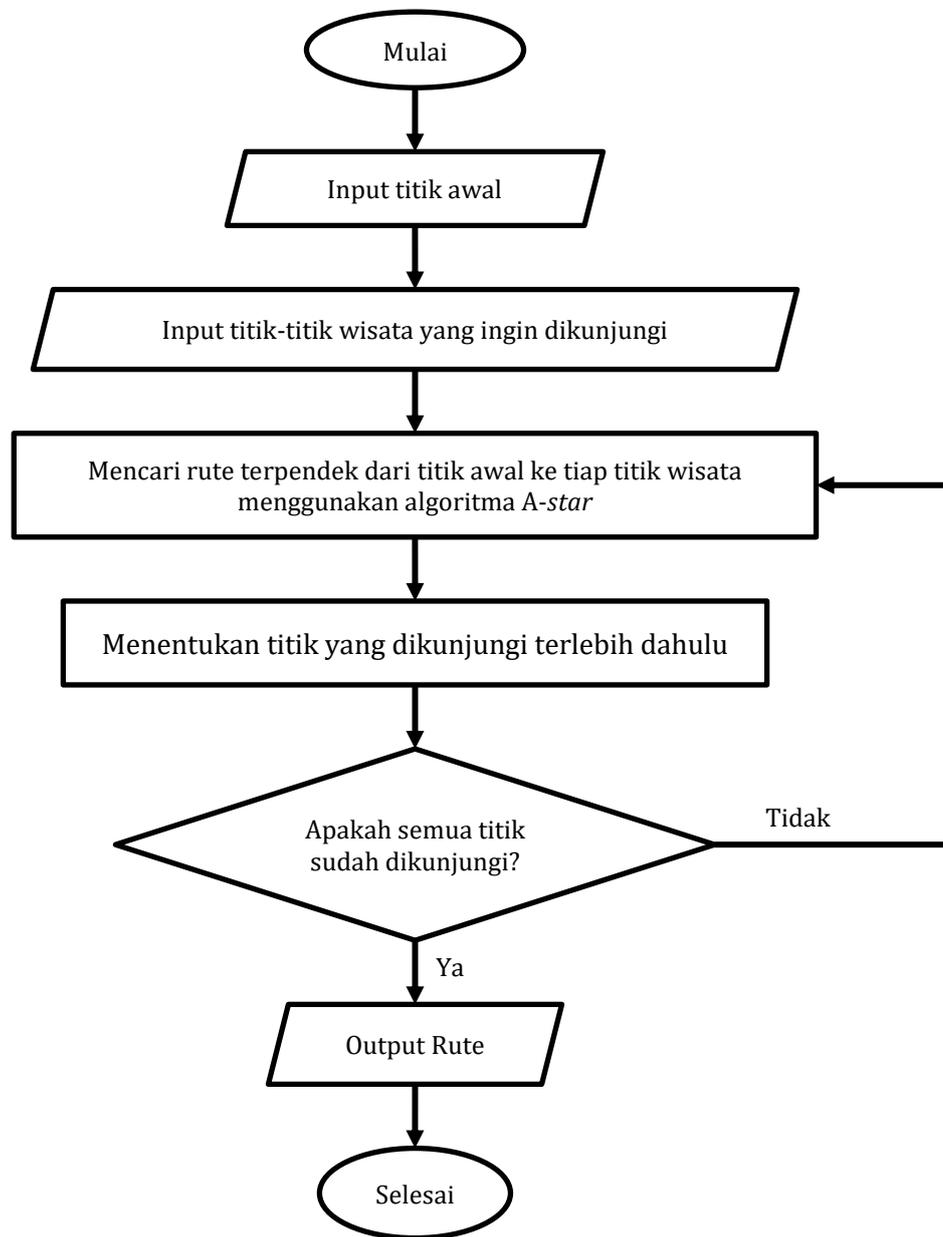
Pengumpulan data tersebut berupa kumpulan nama destinasi wisata di Kota Malang dan kumpulan rute yang akan dijadikan *edge* dari sebuah graf di mana *edge* ini juga sudah diseleksi baik yang satu arah maupun dua arah. Dilanjutkan dengan proses pengumpulan data terakhir adalah mengumpulkan data jarak rute antar simpul yang akan dijadikan bobot *edge* pada graf.

c) Membuat Graf

Proses pembuatan graf dilakukan dengan menggambar seluruh data yang diperoleh, dimulai dari semua titik dan semua sisi yang menghubungkan antar titik satu dengan titik lainnya. Sisi yang sudah tergambar akan diberi label bobot jarak. Sistem label tersebut juga menggunakan alat bantu google maps. Satuan jarak yang digunakan adalah satuan Km (kilometer).

d) Melakukan Eksperimen Untuk Menentukan Rute Terpendek

Dalam satu pengujian akan dipilih beberapa lokasi titik destinasi wisata yang akan dikunjungi, kemudian ditentukan destinasi mana yang akan menjadi rute awal sampai akhir. Proses pengujian dilakukan beberapa kali sehingga bisa menjangkau pengujian seluruh destinasi wisata di Kota Malang. Penentuan rute dalam pengujian ini adalah algoritma *A-star* dengan penambahan seleksi destinasi sebagai pengembangan dari penelitian. Berikut merupakan gambaran *flowchart* pengujian rute dalam penelitian rute terpendek. Hal ini akan disajikan dalam gambar 3 tentang *flowchart* alur pengujian.



Gambar 3. Flowchart Alur Pengujian Rute

e) Evaluasi Hasil

Tahap terakhir dari penelitian ini adalah evaluasi hasil dari rute terpendek yang dihasilkan. Evaluasi akan mengkaji tentang seberapa efektifkah hasil rute yang dihasilkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Deskripsi Data

1. Data Titik Destinasi Wisata

Data titik lokasi wisata terdiri dari beberapa jenis destinasi, berikut salah satu tabel penjabaran data tersebut:

Tabel 1. Kode Wisata Hiburan

No	Nama Destinasi	Simbol
1	Tlogomas Park	W1
2	Hawaii Water Park	W11

Simbol huruf **W** menyimbolkan bahwa titik tersebut adalah titik wisata. Hal ini dilakukan untuk pembeda dengan titik-titik persimpangan yang akan digunakan. Simbol tersebut akan digunakan agar pemilihan lokasi wisata yang diinginkan lebih mudah.

2. Data Titik Persimpangan Jalan

Setelah dilakukan seleksi data dari laman Dinas Tata Ruang Kota Malang didapatkan hasil berupa 236 titik. Setiap titik disimbolkan dengan kode kecamatan dan nomor identitas titik. Tabel 2 akan menampilkan rincian data titik persimpangan per kecamatan:

Tabel 2. Tabel Kode Kecamatan

No	Nama Kecamatan	Kode	Jumlah
1	Lowokwaru	L	57
2	Sukun	S	15
3	Klojen	K	73
4	Blimbing	B	37
5	Kedungkandang	D	23

Titik-titik tersebut kemudian dirangkai menjadi sebuah graf berarah yang di sesuaikan dengan peta jalan Kota Malang. Pembentukan data graf berarah tersebut dibuat pada ekstensi *file* berformat *txt* dan menghasilkan 620 jalan. Tabel pembentukan data graf berarah tersaji dalam tabel 3.

Tabel 3. Tabel Format Penulisan Data

Titik 1	Titik 2	Bobot (km)
L1	L2	0.5

Konsep pendeskripsian data tersebut memiliki arti titik L1 terhubung dengan L2 dan memiliki arah $L1 \rightarrow L2$ dengan bobot 0.5 km

Pengujian Pencarian Rute Terpendek

Pengujian rute terpendek akan dilakukan sesuai dengan algoritma tahapan penelitian.

a. Memilih Titik Awal dan Titik Tujuan

Tahap awal pada penelitian ini adalah menentukan titik awal perjalanan. Titik awal ini dipilih bebas sesuai dengan yang diinginkan. Selanjutnya adalah pemilihan lokasi destinasi wisata. Hal ini dapat dilakukan untuk beberapa lokasi wisata, asalkan tidak memilih lebih dari 43 destinasi wisata. Format untuk pengisian beberapa titik wisata adalah dipisahkan dengan tanda koma (,). Bentuk pemilihan titik awal dan beberapa lokasi tujuan tersaji dalam tabel.

Tabel 4. Tabel Contoh Pengujian Rute

Titik Awal	L1
Titik-titik Tujuan Destinasi	W3,W1,W2

b. Penentuan Rute

Penentuan rute akan menyeleksi titik awal terhadap setiap lokasi titik tujuan menggunakan algoritma A-star. Berikut merupakan penjelasan seleksi penentuan rute tersebut berdasarkan contoh pada poin a.

Penentuan Rute L1 → W3

L1 merupakan titik awal sehingga L1 kita masukkan ke dalam *List Tutup*

$$List\ Tutup = [['L1', 0]]$$

L1 hanya terhubung dengan L2 sehingga L2 langsung kita masukkan ke *list* tutup menjadi:

$$List\ Tutup = [['L1', 'L2', 1.5]]$$

Selanjutnya akan dicari titik mana saja yang terhubung dengan L2 dan berapa nilai masing-masing heuristik titik tersebut. Nilai heuristik diambil melalui perhitungan jarak *Euclid* pada persamaan (2). Perhitungan ini diambil dari titik koordinat yang ada pada gambar visualisasi graf. Kemudian didapatkan hasil berupa panjang rute dan nilai heuristiknya sebagai berikut:

$$Terpilih = \{ 'W1': (0.15, 1.7), 'L3': (0.6, 0.7) \}$$

Kemudian kita seleksi melalui sebuah perhitungan dan dipilih nilai yang paling minimum.

$$\begin{aligned} f(W1) &= g(W1) + h(W1) \\ &= (1.5 + 0.15) + 1.7 \\ &= 3.35 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(L3) &= g(L3) + h(L3) \\ &= (1.5 + 0.6) + 0.7 \\ &= 2.8 \end{aligned}$$

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa L3 memiliki perhitungan yang minimum, sehingga kita masukkan ke dalam *list* tutup menjadi:

$$List\ Tutup = [['L1', 'L2', 'L3', 2.1]]$$

Sama halnya dengan proses sebelumnya, akan dicari titik yang terhubung dengan L3, kemudian didapatkan hasil:

$$Terpilih = \{ 'L4': (0.5, 0.5), 'L8': (0.9, 0.4) \}$$

$$\begin{aligned} f(L4) &= g(L4) + h(L4) \\ &= (2.1 + 0.5) + 0.5 \\ &= 3.1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(L8) &= g(L8) + h(L8) \\ &= (2.1 + 0.9) + 0.4 \\ &= 3.4 \end{aligned}$$

Melalui proses yang sama didapatkan hasil bahwa titik yang memiliki perhitungan minimum adalah titik L4. L4 kita masukkan dalam *list* tutup.

$$List\ Tutup = [['L1', 'L2', 'L3', 'L4', 2.6]]$$

L4 terhubung dengan L9 dan L5. Panjang rute dan nilai heuristiknya adalah:

$$Terpilih = \{ 'L9': (0.6, 0.1), 'L5': (0.5, 0.4) \}$$

$$\begin{aligned} f(L9) &= g(L9) + h(L9) \\ &= (2.6 + 0.6) + 0.1 \\ &= 3.3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(L5) &= g(L5) + h(L5) \\ &= (2.6 + 0.5) + 0.4 \\ &= 3.5 \end{aligned}$$

Melalui penyeleksian yang sama pula didapatkan hasil bahwa titik yang memiliki perhitungan minimum adalah titik L9. L9 kita masukkan dalam *list* tutup.

$$List\ Tutup = [['L1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L9', 3.2]]$$

L9 terhubung dengan L8,W3, dan L11. Kemudian kita ketahui informasi di dalamnya tentang bobot dan nilai heuristiknya adalah:

Terpilih = {'L8': (0.4, 0.3), 'L11': (0.7, 0.5), 'W3': (0.1, 0)}

$$\begin{aligned} f(L8) &= g(L8) + h(L8) \\ &= (3.2 + 0.4) + 0.3 \\ &= 3.9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(L11) &= g(L11) + h(L11) \\ &= (3.2 + 0.7) + 0.5 \\ &= 4.4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f(W3) &= g(W3) + h(W3) \\ &= (3.2 + 0.1) + 0 \\ &= 3.3 \end{aligned}$$

W3 terpilih karena memiliki nilai perhitungan yang paling minum dan juga memiliki nilai heuristik 0 yang menandakan telah sampai pada lokasi tujuan. Sehingga didapatkan hasil:

List Tutup = [['L1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L9', 'W2'], 3.3]

Proses ini dilakukan secara terus menerus sehingga didapatkan hasil sesuai pada tabel 5.

Tabel 5. Seleksi Rute

No	Selection	CLOSED LIST
1	L1 → W2	[['L1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L5', 'L6', 'W2'], 3.27]
	L1 → W1	[['L1', 'L2', 'W1'], 1.65]
	L1 → W3	[['L1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L9', 'W2'], 3.3]
2	W1 → W3	[['W1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L9', 'W3'], 1.95]
	W1 → W2	[['L1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L5', 'L6', 'W2'], 1.92]
3	W2 → W3	[['W2', 'L6', 'L5', 'L10', 'L9', 'W3'], 1.23]

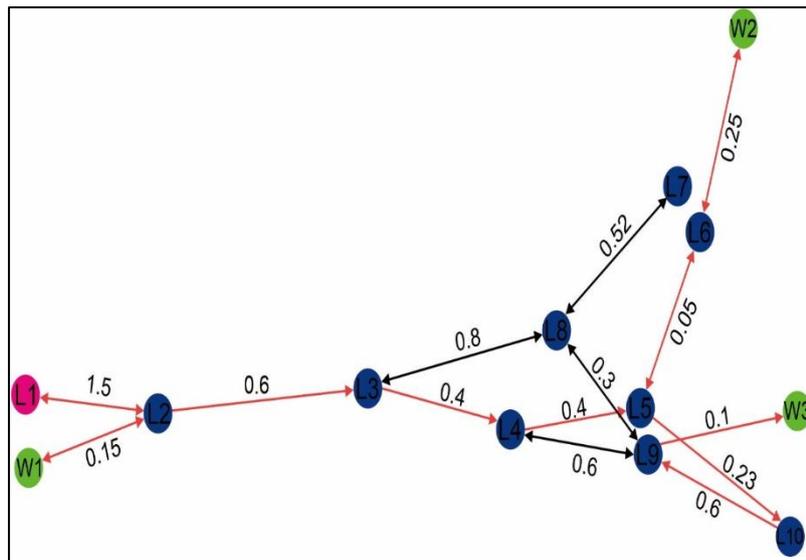
Hasil Pengujian

Rute terakhir yang ada pada list tutup di atas dapat dimasukkan ke dalam list rute. Kemudian dijumlahkan total jarak minimum yang dapat ditempuh.

List Rute = [['L1', 'L2', 'W1'], ['W1', 'L2', 'L3', 'L4', 'L5', 'L6', 'W2'], ['W2', 'L6', 'L5', 'L10', 'L9', 'W3'], 4.8]

Berdasarkan list rute di atas, melalui titik L1, Destinasi pertama yang menjadi tujuan adalah W1. Setelah itu dilanjutkan ke destinasi kedua yaitu W2. Selesai dari W2, perjalanan dilanjutkan ke destinasi terakhir yaitu W3. Hasil ini akan tetap walaupun ketika memasukkan titik tujuan secara acak, baik W1 terlebih dahulu, W2 terlebih dahulu, bahkan W3 terlebih dahulu. Total jarak tempuh yang dilalui adalah 4,8km. Karena ketika masuk dalam proses perhitungan akan diproses sesuai dengan algoritma yang telah dibuat sebelumnya.

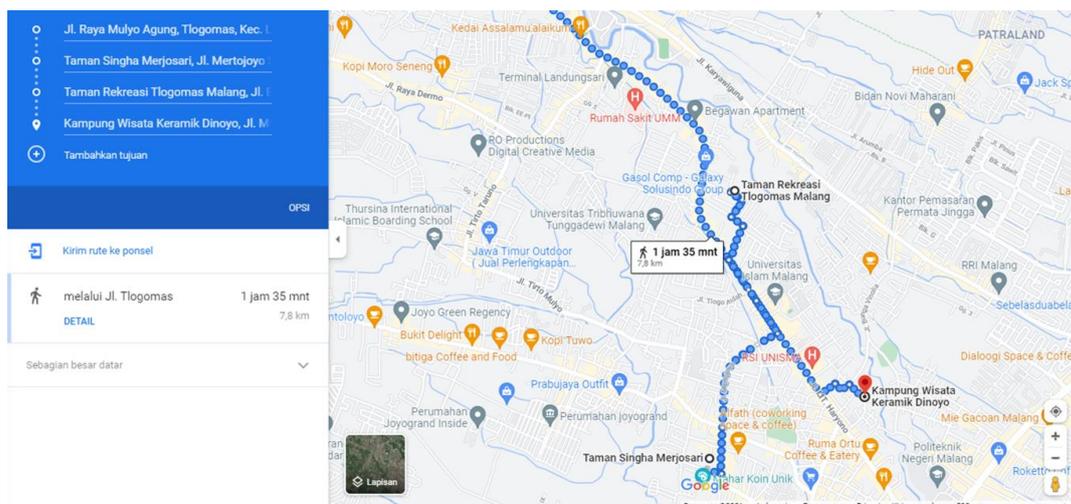
Visualisasi Rute



Gambar 4. Visualisasi Rute

Visualisasi graf ini pada umumnya berwarna biru untuk semua titik dan warna hitam untuk setiap sisi. Garis yang berpanah menunjukkan graf berarah itu sendiri. Selain itu, untuk output hasil akan diberikan warna tersendiri untuk dibedakan. Titik berwarna merah muda menyimbolkan titik awal dalam melakukan perjalanan. Titik ini merupakan titik awal yang telah dimasukkan pada tahap awal. Titik yang berwarna hijau menandakan titik yang akan menjadi tujuan destinasi wisata. Warna sisi yang menjadi rute diberi warna merah agar menjadi pembeda dengan sisi yang tidak dijadikan rute perjalanan.

Penelitian ini juga akan menguji rute terpendek pada beberapa destinasi melalui google maps. Pengujian ini akan disesuaikan dengan pengujian menggunakan algoritma A-star. Misalnya, pada perhitungan yang telah dijelaskan di atas adalah dari L1 ke W2, W1, dan W3. Maka pada google maps akan dilakukan penelusuran melalui L1 menuju W3 (Taman Merjosari), W1 (Tlogomas Park), dan W2 (Kampung Keramik), dan. Satuan jarak pada penelitian ini menggunakan satuan kilo meter. Salah satu hasil yang ditampilkan pada google maps berdasarkan contoh di atas tersaji dalam gambar 5.



Gambar 5. Visualisasi Rute Pada Maps

Gambar 5 menunjukkan bahwa rute yang terbentuk adalah rute yang berurut sesuai dengan yang telah di masukkan pada kolom tujuan. Tidak terdapat penyeleksian destinasi mana

yang terdekat dengan titik awal sehingga dapat dikunjungi terlebih dahulu. Jarak yang ditempuh adalah 7,8 km. Jarak ini lebih panjang daripada yang dihasilkan oleh Algoritma A-star.

Proses pengujian ini akan dilakukan sebanyak 30 kali secara acak. Walaupun secara acak, pengujian ini akan dilakukan menyeluruh. Arti menyeluruh di sini adalah seluruh destinasi wisata akan mendapatkan bagian untuk dilakukan proses pengujian sesuai dengan program yang telah dibuat sebelumnya.

Evaluasi Pengujian

Setelah dilakukan pengujian sebanyak 30 kali didapatkan hasil bahwa pengujian yang dilakukan dengan algoritma A-star memiliki jarak yang relatif lebih pendek daripada jarak yang ditampilkan melalui google maps. Persentase kehematan/ efektivitas jarak tempuh hasil pengujian didapatkan melalui

$$\text{nilai efektivitas} = \frac{JM-JP}{JM} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

JM = Jarak yang ditampilkan pada google maps

JP = Jarak ditampilkan pada penelitian

Hasil perhitungan menunjukkan pengujian yang dilakukan menggunakan algoritma A-star memiliki kehematan jarak tempuh dengan rata-rata persentasenya adalah 44,17 %. Ada beberapa alasan yang membuat hasil pengujian rute terpendek menuju beberapa destinasi wisata jauh lebih efektif. Berikut merupakan penjelasannya:

a. Perhitungan Nilai Heuristik

Keunikan khas yang dimiliki oleh algoritma A-star adalah perhitungan nilai heuristiknya. Nilai heuristik merupakan jarak antara setiap titik yang dihubungkan dengan titik tujuan. Proses perhitungannya melalui perhitungan jarak Euclid yang diambil melalui titik koordinat masing-masing titik yang tersebar pada gambar.

b. Penyeleksian Prioritas Rute Destinasi

Proses penelitian ini tidak berfokus pada satu tujuan destinasi saja, melainkan dilakukan pada beberapa titik tujuan destinasi wisata. Ketika dipilih terdapat tiga tujuan, maka dari ke tiga tujuan tersebut akan diseleksi masing-masing dengan algoritma A-star. Kemudian akan dipilih destinasi mana yang akan menjadi tujuan pertama. Untuk menentukan tujuan destinasi kedua juga akan dilakukan seperti halnya yang pertama. Hal ini dilakukan sampai pada tujuan destinasi terakhir.

KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa penentuan rute terpendek menggunakan algoritma A-star dinilai lebih efektif dalam sisi jarak. Hal ini dibuktikan dengan pengujian rute terpendek yang telah dilakukan secara acak dan menyeluruh terhadap seluruh destinasi wisata sebanyak 30 kali. Hasilnya didapatkan bahwa rata-rata jarak yang dihasilkan lebih pendek/ efektif 44,17 % dibandingkan jarak rute yang dihasilkan pada google maps. Penyebab keefektifan ini ada dua. Pertama adalah adanya nilai heuristik setiap titik terhadap titik tujuan. Penyebab keefektifan kedua adalah desain penelitian tentang pembuatan prioritas destinasi.

REFERENSI

- [1] Pekandayu, *Buku Panduan Kakang Mbakyu Kota Malang 2020*. Malang: Disporapar Kota Malang, 2020.
- [2] R. Munir, "Matematika diskrit," 2016.