



**PENERAPAN ALGORITMA A-STAR PADA PENCARIAN RUTE TERPENDEK
WISATA MUSEUM KOTA YOGYAKARTA**

***APPLICATION OF THE A-STAR ALGORITHM IN FINDING THE SHORTEST ROUTE
FOR MUSEUM TOURS IN THE CITY OF YOGYAKARTA***

Dwi Anggraini Sulistyowati, Program Studi Matematika Universitas Negeri Yogyakarta,
Indonesia

Himmawati Puji Lestari*, Program Studi Matematika Universitas Negeri Yogyakarta,
Indonesia

*e-mail: himmawati@uny.ac.id

Abstrak

Dalam merencanakan perjalanan ke museum-museum Kota Yogyakarta, wisatawan membutuhkan solusi praktis untuk menentukan rute terpendek yang efisien, mengingat jumlah museum yang banyak dan pembatasan waktu perjalanan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rute terpendek dalam mengunjungi objek wisata museum di Kota Yogyakarta yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisa menggunakan algoritma A-Star. Penelitian ini menggunakan algoritma A-Star untuk menentukan rute terpendek menuju objek wisata museum di Kota Yogyakarta dengan data yang digunakan bersumber dari Dinas Kebudayaan Kota Yogyakarta, Dinas Pariwisata Kota Yogyakarta dan Google Maps yang kemudian disajikan dalam bentuk graf dengan simpul berupa pintu masuk menuju Kota Yogyakarta, objek wisata, dan persimpangan jalan sedangkan bobotnya berupa jarak antartempat. Perhitungan nilai heuristik dalam algoritma A-Star menggunakan persamaan *haversine formula* untuk mengestimasi jarak menuju tujuan. Hasil penelitian ini diperoleh 72 rute yang terbagi menjadi 4 pintu masuk sebagai titik awal. Rute dapat dikelompokkan menjadi paket wisata dengan rute terpendek yang melewati node yang sama. Dari Pintu Masuk I terdapat 13 pilihan paket wisata, dari Pintu Masuk II terdapat 4 pilihan, dari pintu masuk III terdapat 11 pilihan dan dari pintu masuk IV terdapat 16 pilihan.

Kata Kunci: Algoritma A-Star, Rute Terpendek, Wisata Museum

Abstract

In planning a trip to the Yogyakarta City museums, tourists need a practical solution to determine the shortest route that is efficient, considering the large number of museums and travel time restrictions.. This study aims to determine the shortest route to visit museum attractions in the city of Yogyakarta which is recommended based on the results of an analysis using the A-Star algorithm. This study uses the A-Star algorithm to determine the shortest route to museum attractions in Yogyakarta City. The data used comes from the Yogyakarta City Culture Office, Yogyakarta City Tourism Office and Google Maps which are then presented in graph form with nodes in the form of entrances to Yogyakarta City. , tourist objects, and crossroads while the weight is the distance between places. Calculation of the heuristic value in the A-Star algorithm uses the haversine equation formula to estimate the distance to the destination. The results of this study obtained 72 routes divided into 4 entrances as a starting point. The route can be reduced to a tour package with the shortest route which is the same node. From Entrance I there are 13 choices of tour packages, from Entrance II there are 4 choices, from Entrance III there are 11 choices and from Entrance IV there are 16 choices.

Keywords: A-Star Algorithm, Shortest Route, Tourism Museum

PENDAHULUAN

Kota Yogyakarta merupakan salah satu kota di Indonesia yang terus berkembang baik dari segi kehidupan masyarakatnya maupun segi tata ruangnya (Putra, 2015). Karena kekayaan budayanya, Yogyakarta telah lama dikenal sebagai pusat budaya Jawa dan pusat pengembangan kebudayaan. Potensi budaya yang menonjol di Yogyakarta merupakan aset yang tidak ternilai dan tidak akan habis digali nilai-nilainya, karena kehidupan seni budaya di Yogyakarta terus berkembang dari waktu ke waktu sesuai dengan perkembangan zaman, oleh karena itu tidak salah jika banyak pengunjung yang memilih Kota Yogyakarta sebagai kota tujuan wisata. Salah satu cara yang dapat dilakukan pemerintah untuk menjaga, melindungi dan melestarikan peninggalan-peninggalan sejarah yaitu dengan didirikannya suatu lembaga yaitu museum. Museum mengelola bukti material hasil budaya atau material alam dan lingkungannya yang memiliki nilai sejarah, ilmu pengetahuan, pendidikan, agama, budaya, teknologi, atau pariwisata untuk dikomunikasikan dan dipamerkan kepada masyarakat umum (Fuadi, 2019).

Berdasarkan Undang-Undang Tahun 1990 No. 9 tentang Kepariwisata, pada bab III pasal 4 menyebutkan bahwa museum merupakan salah satu objek dan daya tarik wisata hasil karya manusia (wisata budaya). Objek wisata museum di Kota Yogyakarta tersebar di berbagai titik, untuk menuju objek wisata terdapat beberapa rute yang dapat ditempuh. Selain itu Kota Yogyakarta dapat diakses dari beberapa pintu masuk, untuk menuju tempat wisata museum dari pintu masuk satu dengan lainnya tentu memiliki rute yang berbeda. Dalam sebuah perjalanan untuk menuju objek wisata museum satu dengan lainnya perlu adanya informasi rute perjalanan dengan jarak terpendek untuk membantu wisatawan dalam merencanakan perjalanan selama berwisata dari pintu masuk menuju Kota Yogyakarta hingga ke tempat tujuan yaitu objek wisata yang dituju. Pemilihan rute terpendek menjadi solusi untuk permasalahan tersebut, sehingga wisatawan bisa menentukan destinasi yang tepat untuk dikunjungi.

Pada penelitian ini pencarian rute terpendek diukur berdasarkan perhitungan jarak. Pertimbangan untuk menggunakan variabel jarak antar museum di Kota Yogyakarta dalam pencarian rute terpendek didasarkan pada beberapa alasan. Pertama, jarak antar museum dapat dianggap sebagai faktor yang lebih mudah diukur dan diprediksi dibandingkan dengan waktu perjalanan antar museum. Kedua, jarak antar museum juga dapat membantu wisatawan untuk mengoptimalkan waktu kunjungan mereka di museum Kota Yogyakarta.

Masalah dalam penelitian ini merupakan masalah rute terpendek dalam konteks wisata museum di Kota Yogyakarta, dengan memperhatikan batasan bahwa setiap tempat dikunjungi hanya sekali. Dengan demikian, masalah rute terpendek menjadi fokus utama dalam penelitian ini yang memberikan solusi praktis bagi wisatawan yang ingin merencanakan kunjungan ke berbagai wisata museum di Kota Yogyakarta. Permasalahan penentuan rute terpendek perlu menggunakan strategi khusus. Dengan menggunakan algoritma pencarian rute terpendek dapat membantu pengunjung dalam merencanakan perjalanan wisatawan. Beberapa algoritma untuk mencari rute terpendek ialah algoritma Dijkstra, algoritma Breadth First, algoritma Genetika, algoritma Hill Climbing, algoritma Warshall, algoritma A-Star dan lainnya.

Algoritma A-Star merupakan suatu algoritma yang termasuk pada metode pencarian yang memiliki informasi (*informed search method*). Algoritma ini sangat baik sebagai solusi proses *path finding* (pencari jalan). Algoritma ini mencari jarak rute terpendek yang akan ditempuh suatu point awal (*starting point*) sampai ke objek tujuan (Dalem, 2018). Algoritma A-Star merupakan algoritma perbaikan dari algoritma *Best First Search* yang menggabungkan *Uniform Cost Search* dan *Greedy Best First Search* (Pramudhita & Muljono, 2018). Metode ini digunakan karena dapat menghitung jalur terpendek dan menganalisis

semua jalur lintasan yang efisien dalam graf untuk setiap sisi dari seluruh simpul yang dibuat. Oleh karena itu, metode ini dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah penentuan rute terpendek khususnya dalam penerapannya untuk mencari destinasi wisata museum di Kota Yogyakarta. Biaya yang diperhitungkan didapat dari biaya sebenarnya ditambah dengan biaya perkiraan. Dalam notasi matematika dituliskan sebagai: $f(n) = g(n) + h(n)$. Dengan perhitungan biaya seperti ini, algoritma A Star adalah *complete* dan optimal (Suyanto, 2014). Notasi yang dipakai oleh Algoritma A-Star adalah sebagai berikut:

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

Keterangan:

$f(n)$ = solusi biaya estimasi terendah node n untuk mencapai tujuan

$g(n)$ = biaya dari node awal ke node n (biaya path/perjalanan)

$h(n)$ = perkiraan biaya dari node n ke node akhir.

Perhitungan nilai $h(n)$ ditentukan dengan melakukan perhitungan dengan *haversine formula*.

$$d = \text{acos}(\sin(\text{lat1}) \cdot \sin(\text{lat2}) + \cos(\text{lat1}) \cdot \cos(\text{lat2}) \cdot \cos(\text{long2} - \text{long1})) \cdot R \quad (2)$$

Keterangan:

R = jari-jari bumi sebesar 6371(km)

d = jarak (km)

lat1, lat2 = latitude titik 1 dan 2 (dalam bentuk radian)

long1, long2 = longitude titik 1 dan 2 (dalam bentuk radian)

1 derajat = 0,0174532925 radian

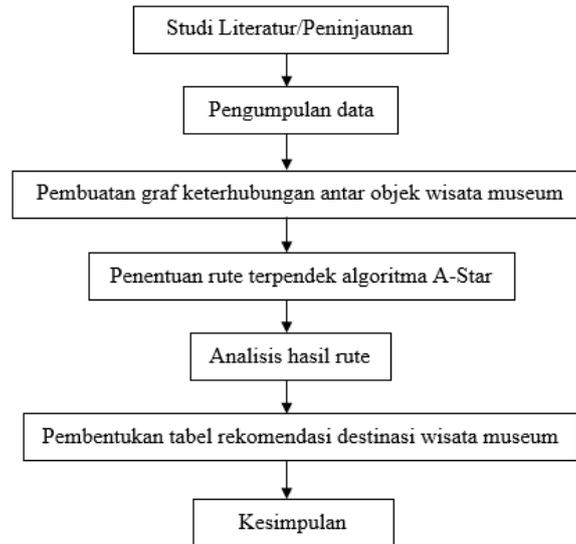
Penelitian tentang Algoritma A-Star telah dilakukan oleh Luthfita et al. (2022) mengenai implementasi algoritma A-Star dalam menentukan tarif minimum berdasarkan jarak terpendek rute armada taksi bandara. Permasalahan yang umumnya terjadi dalam rute taksi adalah bagaimana untuk menentukan jarak tempuh tanpa mengorbankan waktu dan menentukan tarif minimum sehingga mempermudah penumpang untuk mengetahui biaya tarif perjalanan. Pada penelitian Luthfita et al. (2022) perhitungan nilai heuristik menggunakan rumus persamaan *euclidean distance* sedangkan pada penelitian ini akan menggunakan persamaan *haversine formula* dalam menghitung nilai heuristik.

Berdasarkan hal tersebut yang telah diuraikan di atas, perlu diteliti mengenai penerapan algoritma A-Star untuk penentuan rute objek wisata museum di Kota Yogyakarta yang dapat digunakan sebagai alat bantu bagi wisatawan untuk dapat menentukan rute terpendek pada perjalanan menuju objek wisata museum di Kota Yogyakarta. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui rute terpendek dalam mengunjungi objek wisata museum di Kota Yogyakarta yang direkomendasikan berdasarkan hasil analisa menggunakan algoritma A-Star.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian terapan untuk menyelesaikan masalah penentuan rute terpendek menuju wisata museum di Kota Yogyakarta dengan algoritma A-Star. Algoritma A-star merupakan algoritma heuristik yang menghitung efisiensi solusi optimal dan didesain untuk pencarian jalur dari suatu titik ke titik lain menggunakan konsep graf dan terdapat kumpulan node yang mempresentasikan titik asal tujuan (Susilawati et al., 2020). Data yang digunakan dalam penelitian terapan ini berasal dari situs resmi Dinas Kebudayaan Kota Yogyakarta, Dinas Pariwisata Kota Yogyakarta yang berupa data objek-objek wisata museum di Kota Yogyakarta, serta Google Maps dan Google Earth digunakan untuk pengambilan peta digital, titik koordinat (*latitude, longitude*) dan jarak. Rincian data yang digunakan yaitu diperoleh data sebanyak 19 objek wisata museum, 43 data persimpangan jalan, dan 4 data pintu masuk menuju Kota Yogyakarta sebagai titik awal pencarian rute wisata.

Adapun langkah-langkah penelitian tersebut disajikan pada diagram alir sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram alir tahapan penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Deskripsi Data

1. Data titik destinasi wisata

Titik-titik wisata museum disimbolkan dengan huruf w . Hal ini berfungsi sebagai penanda antara titik-titik persimpangan yang akan digunakan pada data penelitian. Penanda simbol tersebut digunakan untuk memudahkan pemilihan data lokasi yang diinginkan. Data titik lokasi wisata museum terdiri dari 18 destinasi, beberapa data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Nama titik lokasi destinasi wisata museum di kota yogyakarta

No	Nama Destinasi	Koordinat Google Maps		Nama Titik
		Latitude (°)	Longitude (°)	
1	Museum Bahari	-7.801119	110.349303	w_1
2	Museum Monumem Pangeran Diponegoro Sasana Wiratama	-7.786572	110.351446	w_2
3	Museum Benteng Vredeburg	-7.800284	110.366163	w_3
4	Museum Sonobudoyo Unit I	-7.802442	110.364367	w_4

2. Data pintu masuk Kota Yogyakarta

Diperoleh empat pintu masuk yang akan digunakan pada penelitian ini, jalan-jalan tersebut merupakan jalan nasional yang menghubungkan kota Yogyakarta dengan kota-kota besar lainnya. Pemilihan keempat jalan tersebut sebagai pintu masuk ke kota Yogyakarta didasarkan pada pertimbangan aksesibilitas, kondisi jalan yang baik, serta fasilitas pendukung yang memadai. Data pintu masuk Kota Yogyakarta disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pintu masuk menuju kota yogyakarta

No	Pintu Masuk	Koordinat Google Maps		Nama Titik
		Latitude (°)	Longitude (°)	
1	Pintu Masuk I dari Arah Wates (Jalan Yogyakarta-Wates)	-7.800388	110.325176	p_1
2	Pintu Masuk II dari Arah Magelang (Jalan Magelang-Yogyakarta)	-7.749568	110.362398	p_{13}
3	Pintu Masuk III dari Arah Prambanan (Jalan Raya Solo-Yogyakarta)	-7.783336	110.410462	p_{37}
4	Pintu Masuk IV dari Arah Wonosari (Jalan Wonosari).	-7.812405	110.409650	p_{41}

3. Data titik persimpangan jalan

Gambaran umum data persimpangan jalan yang digunakan sebagai acuan pengambilan data diperoleh dari website <http://geoportal.jogjakota.go.id/pencarian?kategori=Transportasi>. Data persimpangan jalan yang diperoleh yaitu sebanyak 43 titik. Berikut ini beberapa data persimpangan jalan di Kota Yogyakarta yang diperoleh dari google maps.

Tabel 3. Persimpangan jalan di kota yogyakarta

Titik	Nama Persimpangan	Koordinat Google Maps	
		Latitude (°)	Longitude (°)
p_2	Simpang 4 Jl. Godean – Jl. Titi Bumi – Jl. Kabupaten – Jl. Godean	-7.779172	110.341003
p_3	Simpang 3 Jl. Godean – Jl. HOS Cokroaminoto – Jl. Kyai Mojo	-7.781702	110.352703
p_4	Simpang 4 Wirobrajan (Jl. KH. Ahmad Dahlan – Jl. HOS Cokroaminoto – Jl. Kapten Piere Tendean – Jl.R. E. Martadinata)	-7.801013	110.351779
p_5	Simpang 4 Jl. Madumurti – Jl. Bugisan – Jl. Sugeng Jeroni	-7.811915	110.349474

Titik-titik tersebut kemudian dirangkai menjadi sebuah graf berbobot yang di sesuaikan dengan peta jalan Kota Yogyakarta. Pembentukan data graf berbobot yang dibuat tersebut menghasilkan 105 jalan. Beberapa pembentukan data graf berbobot tersaji dalam Tabel 4.

Tabel 4. Data bobot sisi yang merepresentasikan jarak antar titik

No	Sisi	Jarak
1	$p_1 - p_2$	4,2
2	$p_1 - w_1$	2,7
3	$p_1 - p_5$	4
4	$p_1 - p_7$	5,8

Penyelesaian Rute Terpendek dengan Algoritma A-Star

1. Memilih Titik Awal dan Titik Tujuan

Tahap awal pada penelitian ini adalah menentukan titik awal perjalanan. Titik awal ini dipilih berdasarkan titik yang menjadi pintu masuk menuju Kota Yogyakarta, yakni p_1, p_{13}, p_{37} dan p_{41} . Lokasi destinasi wisata museum yang tersedia berjumlah 18 destinasi. Sampel penentuan titik awal yaitu titik p_{13} dan lokasi titik tujuan wisata museum yaitu titik w_{18} .

2. Penentuan Rute Terpendek

Penentuan rute $p_{13} \rightarrow w_{18}$. Titik p_{13} merupakan titik awal untuk menuju lokasi, sehingga p_{13} dimasukkan ke dalam *Closed List*.

$Closed List = \{(tujuan; biaya f(n); via)\}$

$Closed List \{(p_{13}; 7,34; p_{13})\}$

Setelah itu akan dicari titik mana yang terhubung dengan p_{13} dan dihitung nilai heuristik masing-masing titik tersebut. Nilai heuristik dapat diperoleh melalui perhitungan *Haversine Formula* pada persamaan (2). Perhitungan ini menggunakan titik-titik koordinat yang ada pada visualisasi graf dari data yang telah diperoleh. Titik p_{13} terhubung dengan p_2 , p_{12} dan p_{14} , kemudian diperoleh hasil berupa perhitungan panjang rute dan nilai heuristik sebagai berikut:

Terpilih = $\{ 'p_2': (7,2; 6,93), 'p_{12}': (1,3; 6,32), 'p_{14}': (2,2; 5,76) \}$

Kemudian dievaluasi melalui perhitungan dan dipilih nilai minimum.

$$f(p_2) = g(p_2) + h(p_2) = (0 + 7,2) + 6,93 = 14,13$$

$$f(p_{12}) = g(p_{12}) + h(p_{12}) = (0 + 1,3) + 6,32 = 7,62$$

$$f(p_{14}) = g(p_{14}) + h(p_{14}) = (0 + 2,2) + 5,76 = 7,96$$

$Open List = \{(tujuan; biaya f(n); via)\}$

$Open List = \{(p_{12}; 7,62; p_{13}), (p_{14}; 7,96; p_{13}), (p_2; 14,13; p_{13})\}$

Hasil yang diperoleh dari perhitungan menunjukkan bahwa p_{12} memiliki hasil yang minimum, sehingga dimasukkan ke dalam *closed list* menjadi:

$Closed List = \{(p_{13}; 7,34; p_{13}), (p_{12}; 7,62; p_{13})\}$

Sama seperti pada proses sebelumnya, akan dicari titik mana saja yang rutenya terhubung dengan p_{12} , titik yang terhubung yakni p_2 , p_{11} dan p_{14} , dan dimasukkan ke dalam *Open List*.

Terpilih = $\{ 'p_2': (5,1; 6,93), 'p_{11}': (2,4; 4,81), 'p_{14}': (0,85; 5,76) \}$

$$f(p_2) = g(p_2) + h(p_2) = (1,3 + 5,1) + 6,93 = 13,33$$

$$f(p_{11}) = g(p_{11}) + h(p_{11}) = (1,3 + 2,4) + 4,81 = 8,51$$

$$f(p_{14}) = g(p_{14}) + h(p_{14}) = (1,3 + 0,85) + 5,76 = 7,91$$

$Open List = \{(p_{14}; 7,91; p_{12}), (p_{11}; 8,51; p_{12}), (p_2; 13,33; p_{12})\}$

Hasil yang diperoleh dari perhitungan menunjukkan bahwa pilihan rute yang memiliki perhitungan minimum adalah titik p_{14} , sehingga dimasukkan ke dalam *closed list*.

$Closed List = \{(p_{13}; 7,34; p_{13}), (p_{12}; 7,62; p_{13}), (p_{14}; 7,91; p_{12})\}$

Sama seperti pada proses sebelumnya, akan dicari titik yang rutenya terhubung dengan p_{14} , titik yang terhubung yakni p_{15} dan p_{23} dimasukkan ke dalam *open list*.

Terpilih = $\{ 'p_{15}': (2,3; 4,23), 'p_{23}': (1,2; 4,9) \}$

$$f(p_{15}) = g(p_{15}) + h(p_{15}) = (2,15 + 2,3) + 4,23 = 8,68$$

$$f(p_{23}) = g(p_{23}) + h(p_{23}) = (2,15 + 1,2) + 4,9 = 8,25$$

$Open List = \{(p_{23}; 8,25; p_{14}), (p_{11}; 8,51; p_{12}), (p_{15}; 8,68; p_{14}), (p_2; 13,33; p_{12})\}$

Titik p_{23} terpilih karena memiliki hasil biaya perhitungan yang minimum. p_{23} dapat dimasukkan ke dalam *closed list*.

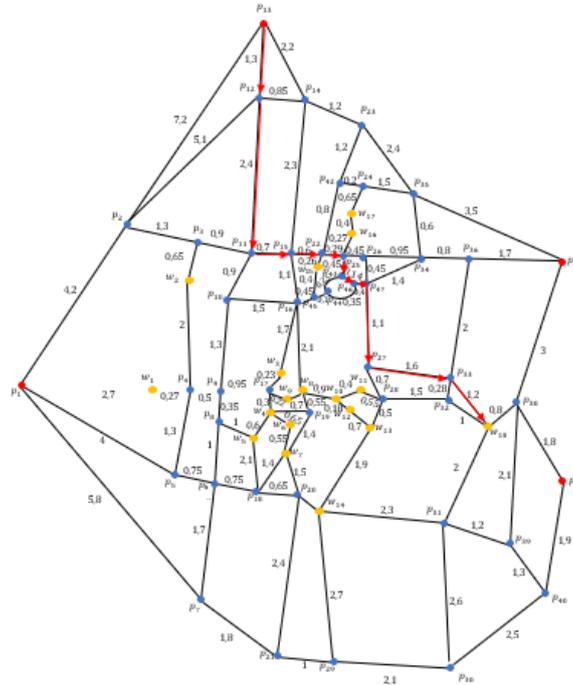
$Closed List = \{(p_{13}; 7,34; p_{13}), (p_{12}; 7,62; p_{13}), (p_{14}; 7,91; p_{12}), (p_{23}; 8,25; p_{14})\}$

Proses ini dilakukan secara terus menerus sehingga didapatkan hasil sebagai berikut.

$Closed List = \{(p_{13}; 7,34; p_{13}), (p_{12}; 7,62; p_{13}), (p_{14}; 7,91; p_{12}), (p_{23}; 8,25; p_{14}), (p_{11}; 8,51; p_{12}), (p_{15}; 8,63; p_{11}), (p_{42}; 8,73; p_{23}), (p_{22}; 8,77; p_{15}), (p_{24}; 8,82; p_{42}), (p_{25}; 8,85; p_{22}), (w_{15}; 9,02; p_{22}), (p_{43}; 9,07; p_{25}), (p_{35}; 9,07; p_{23}), (p_{46}; 9,08; p_{43}), (p_{45}; 9,09; w_{15}), (p_{44}; 9,12; p_{45}), (w_{17}; 9,14; p_{24}), (p_{16}; 9,15; p_{15}), (p_{47}; 9,23; p_{46}), (w_{16}; 9,37; w_{17}), (p_{10}; 9,4; p_{11}), (p_{34}; 9,58; p_{35}), (p_{36}; 9,64; p_{34}), (p_{27}; 9,8; p_{47}), (p_{33}; 9,88; p_{27}), (w_{18}; 10,18; p_{33})\}$

Berdasarkan perhitungan dengan algoritma A-Star rute terpendek dilakukan dengan melakukan penelusuran rute terpendek pada graf. Secara *backward* urutan mulai dari simpul akhir (tujuan)

sampai ke titik awal yaitu $w_{18} - p_{33} - p_{27} - p_{47} - p_{46} - p_{43} - p_{25} - p_{22} - p_{15} - p_{11} - p_{12} - p_{13}$. Oleh karena itu rute terpendek untuk mencapai tujuan w_{18} dari pintu masuk p_{13} yaitu $p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{22} - p_{25} - p_{43} - p_{46} - p_{47} - p_{27} - p_{33} - w_{18}$. Jarak yang ditempuh yaitu sejauh 10,18 km.



Gambar 2. Visualisasi hasil pencarian rute terpendek

Selain dengan perhitungan manual, perhitungan jalur terpendek dengan algoritma A-Star dapat dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python pada aplikasi Jupyter Notebook. Berdasarkan parameter yang digunakan serta jarak antar titik tujuan, maka diperoleh proses pencarian rute menggunakan algoritma A-Star pada *source code* berikut.

```
class Graph:
    def __init__(self):
        self.vertices = {}
    def add_vertex(self, name, coords):
        self.vertices[name] = {'coords': coords, 'neighbors': {}}
    def add_edge(self, v1, v2, distance, bidirectional=True):
        if v1 not in self.vertices:
            raise ValueError(f"Vertex '{v1}' not found.")
        if v2 not in self.vertices:
            raise ValueError(f"Vertex '{v2}' not found.")
        self.vertices[v1]['neighbors'][v2] = distance
        if bidirectional:
            self.vertices[v2]['neighbors'][v1] = distance
    def haversine(self, coords1, coords2):
        lat1, lon1 = coords1
        lat2, lon2 = coords2
        # Mengkonversi latitude dan longitude dari derajat ke radian
        lon1_rad = math.radians(lon1)
        lat2_rad = math.radians(lat2)
        lon2_rad = math.radians(lon2)
        # Jari-jari bumi dalam kilometer
        earth_radius = 6371
        # Menghitung jarak antara koordinat
        dlat = lat2_rad - lat1_rad
        dlon = lon2_rad - lon1_rad
```

```

# Haversine formula untuk perhitungan jarak
argument = math.sin(lat1_rad) * math.sin(lat2_rad) +
math.cos(lat1_rad) * math.cos(lat2_rad) * math.cos(dlon)
# Memastikan argumen acos berada dalam rentang yang valid [-1, 1]
argument = min(1, max(-1, argument))
distance = math.acos(argument) * earth_radius
return distance
def a_star(self, start, goal):
if start not in self.vertices:
    raise ValueError(f"Vertex '{start}' not found.")
if goal not in self.vertices:
    raise ValueError(f"Vertex '{goal}' not found.")
open_set = []
heapq.heappush(open_set, (0, start))
g_score = {v: float('inf') for v in self.vertices}
g_score[start] = 0
f_score = {v: float('inf') for v in self.vertices}
f_score[start] = self.haversine(self.vertices[start]['coords'],
self.vertices[goal]['coords'])
came_from = {}
while open_set:
    current = heapq.heappop(open_set)[1]
    if current == goal:
        path = []
        while current in came_from:
            path.append(current)
            current = came_from[current]
        path.append(start)
        path.reverse()
        total_distance = g_score[goal]
        return path, total_distance
    for neighbor in self.vertices[current]['neighbors']:
        tentative_g_score = g_score[current] +
self.vertices[current]['neighbors'][neighbor]
        if tentative_g_score < g_score[neighbor]:
            came_from[neighbor] = current
            g_score[neighbor] = tentative_g_score
            f_score[neighbor] = g_score[neighbor] +
self.haversine(self.vertices[neighbor]['coords'],
self.vertices[goal]['coords'])
            heapq.heappush(open_set, (f_score[neighbor], neighbor))
    return None, float('inf')

```

Data hasil perhitungan rute terpendek dari Pintu Masuk II disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan rute terpendek dari Pintu Masuk II

No	Titik Awal	Titik Tujuan	Rute
1	p_{13}	w_1	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_4 - w_1$ (6,67 km)
2	p_{13}	w_2	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_3 - w_2$ (5,25 km)
3	p_{13}	w_3	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{16} - w_3$ (7,2 km)
4	p_{13}	w_4	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_{17} - w_4$ (7,15 km)
5	p_{13}	w_5	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_8 - w_5$ (7,25 km)
6	p_{13}	w_6	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_{17} - w_4 - w_6$ (7,8 km)
7	p_{13}	w_7	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_{17} - w_4 - w_6 - w_7$ (8,35 km)
8	p_{13}	w_8	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{16} - w_8$ (7,6 km)

No	Titik Awal	Titik Tujuan	Rute
9	p_{13}	w_9	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_{17} - w_9$ (7,07 km)
10	p_{13}	w_{10}	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{16} - w_8 - w_{10}$ (8,5 km)
11	p_{13}	w_{11}	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{22} - p_{25} - p_{43} - p_{46} - p_{47} - p_{27} - p_{28} - w_{11}$ (8,63 km)
12	p_{13}	w_{12}	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{16} - w_8 - w_{10} - w_{12}$ (8,68 km)
13	p_{13}	w_{13}	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{22} - p_{25} - p_{43} - p_{46} - p_{47} - p_{27} - p_{28} - w_{13}$ (8,58 km)
14	p_{13}	w_{14}	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_8 - p_6 - p_{18} - p_{20} - w_{14}$ (9,2 km)
15	p_{13}	w_{15}	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{22} - w_{15}$ (5,26 km)
16	p_{13}		$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{22} - p_{25} - w_{16}$ (5,56 km)
17	p_{13}	w_{17}	$p_{13} - p_{12} - p_{14} - p_{23} - p_{42} - p_{24} - w_{17}$ (5,4 km)
18	p_{13}	w_{18}	$p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{15} - p_{22} - p_{25} - p_{43} - p_{46} - p_{47} - p_{27} - p_{33} - w_{18}$ (10,18 km)

Pembahasan

Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dengan algoritma A-Star, rute terpendek ditentukan dengan menelusuri rute terpendek pada graf. Dari ke-4 Pintu Masuk diperoleh sebanyak 72 rute terpendek menuju objek wisata museum di Kota Yogyakarta. Setiap pintu masuk menghasilkan 18 rute terpendek. Hasil analisis menggunakan algoritma A-Star menghasilkan rute terpendek yang efisien untuk mengunjungi lokasi wisata museum di Kota Yogyakarta. Hasil tersebut sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Syihabuddin, et al. (2022) yang mengevaluasi akurasi dan ketepatan algoritma A-Star dalam berbagai konteks dan aplikasi. Algoritma A-Star telah digunakan secara luas dalam masalah pencarian rute terpendek, termasuk dalam navigasi kendaraan dan perencanaan perjalanan. Rute-rute pada penelitian ini membentuk beberapa paket wisata dengan rute yang melewati simpul-simpul yang sama, sehingga wisatawan dapat merencanakan perjalanan dengan mengunjungi beberapa tempat wisata dalam satu perjalanan dengan jarak yang minimal. Diantara berbagai rute yang didapat terdapat rute yang melewati titik yang sama dengan rute lainnya, sehingga dalam satu rute melewati lebih dari satu objek wisata museum. Misalnya, rute terpendek menuju Museum Batik Yogyakarta dari Pintu Masuk II dari arah Magelang (Jalan Magelang-Yogyakarta) yaitu $p_{13} - p_{12} - p_{11} - p_{10} - p_9 - p_{17} - w_4 - w_6 - w_7$. Sebelum berangkat dari Pintu Masuk II menuju Museum Batik Yogyakarta pada rute ini, terlebih dahulu akan melewati beberapa wisata museum yaitu Museum Sonobudoyo Unit I, Museum Sonobudoyo Unit II, dan selanjutnya sampai di Museum Batik Yogyakarta. Beberapa objek wisata museum dikelompokkan pada rute terpendek dari pintu masuk Kota Yogyakarta menuju beberapa objek wisata museum di Kota Yogyakarta dalam satu kali perjalanan.

Tabel 6. Rekomendasi paket wisata museum di Kota Yogyakarta dari Pintu Masuk II

Pintu Masuk	Paket Wisata	Pilihan Tempat Wisata	Rute Terpendek
II	A2	1. Museum Sonobudoyo Unit I 2. Museum Sonobudoyo Unit II	Pintu Masuk II - Museum Sonobudoyo Unit I - Museum Sonobudoyo Unit II (7,8 km)
	B2	1. Museum Sonobudoyo Unit I	Pintu Masuk II - Museum Sonobudoyo Unit I - Museum Sonobudoyo Unit II - Museum Batik Yogyakarta

Pintu Masuk	Paket Wisata	Pilihan Tempat Wisata	Rute Terpendek
		2. Museum Sonobudoyo Unit II	(8,35 km)
		3. Museum Batik Yogyakarta	
	C2	1. Museum Taman Pintar Yogyakarta	Pintu Masuk II - Museum Taman Pintar Yogyakarta - Museum Biologi UGM
		2. Museum Biologi UGM	(8,5 km)
	D2	1. Museum Taman Pintar Yogyakarta	Pintu Masuk II - Museum Taman Pintar Yogyakarta - Museum Biologi UGM - Museum Sasmitaloka Panglima Besar Jenderal Sudirman
		2. Museum Biologi UGM	
		3. Museum Sasmitaloka Panglima Besar Jenderal Sudirman	(8,68 km)

Tabel 6 memperlihatkan rekomendasi paket wisata museum dari Pintu Masuk II. Paket wisata yang disediakan terdiri dari 4 pilihan paket wisata, dengan jumlah pilihan dan tempat wisata yang berbeda-beda. Kolom ke-2 tabel menunjukkan pilihan paket perjalanan wisata dan pada tabel kolom ke-3 menunjukkan pilihan objek wisata yang dapat dikunjungi. Pada paket A dan C terdapat 2 pilihan objek wisata yang dapat dikunjungi, pada paket B dan D terdapat 3 pilihan objek wisata. Wisatawan dapat memilih paket perjalanan wisata dan jumlah tujuan wisata yang ingin dikunjunginya, urutan tujuan wisata yang dikunjungi harus sesuai dengan rekomendasi rute terpendek yang dapat dilihat pada Tabel 6 kolom ke-4.

Dalam data yang diperoleh, terdapat beberapa pilihan tempat wisata yang dapat dikunjungi dalam paket wisata dengan pintu masuk yang ditentukan. Setiap pilihan tempat wisata memiliki rute terpendek yang harus diikuti. Sebagai contoh seorang wisatawan ingin memilih paket wisata D2 dari Pintu Masuk II, namun dalam perjalanannya hanya ingin mengunjungi 2 objek wisata, maka wisatawan dapat memilih 2 destinasi sesuai preferensinya dari 3 destinasi yang direkomendasikan. Misalnya wisatawan memutuskan untuk mengunjungi Museum Taman Pintar Yogyakarta dan Museum Sasmitaloka Panglima Besar Jenderal Sudirman, maka berdasarkan rekomendasi rute terpendek tujuan wisata yang dikunjungi yaitu Museum Taman Pintar Yogyakarta yang harus dikunjungi terlebih dahulu, dan selanjutnya baru menuju ke Museum Sasmitaloka Panglima Besar Jenderal Sudirman. Berikut merupakan rute dari Pintu Masuk II menuju objek wisata museum.



Gambar 3. Rute dari Pintu Masuk II menuju objek wisata museum

Keterangan:

↳ Pintu Masuk II

👉 Objek wisata museum yang direkomendasikan

Keterangan garis:

Paket Wisata A2 = —

Paket Wisata B2 = — + —

Paket Wisata C2 = —

Paket Wisata D2 = — + —

SIMPULAN

Penerapan algoritma A-Star dalam menyelesaikan rute terpendek perjalanan menuju objek wisata museum di Kota Yogyakarta menghasilkan 72 rute yang terbagi menjadi 4 pintu masuk sebagai titik awal. Rute yang melewati semua node yang sama dengan rute lain dikelompokkan menjadi satu paket wisata dengan rute terpendek menuju beberapa tempat wisata di Kota Yogyakarta dengan satu kali perjalanan. Dari Pintu Masuk I terdapat 13 pilihan paket wisata, dari Pintu Masuk II terdapat 4 pilihan, dari pintu masuk III terdapat 11 pilihan dan dari pintu masuk IV terdapat 16 pilihan. Hasil analisis menggunakan algoritma A-Star dapat memberikan informasi mengenai rute terpendek untuk mengunjungi lokasi wisata museum di Kota Yogyakarta. Dengan menghitung dan mencari rute terpendek, dapat ditemukan rute yang menghubungkan museum dengan jarak terpendek. Rute terpendek ini dapat menjadi panduan bagi wisatawan dalam merencanakan perjalanan wisata menuju museum-museum di Kota Yogyakarta secara efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terimakasih penulis sampaikan kepada Dosen Pembimbing Skripsi, Koordinator Prodi Matematika dan seluruh Dosen Prodi dan Jurusan Pendidikan Matematika yang telah memberikan ilmu dan bimbingan hingga terselesainya artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Dalem, I. B. G. W. A. (2018). Penerapan Algoritma A* (Star) Menggunakan Graph Untuk Menghitung Jarak Terpendek. *Jurnal RESISTOR (Rekayasa Sistem Komputer)*, 1(1), 41–47. <https://doi.org/10.31598/jurnalresistor.v1i1.253>
- Fuadi, Z. (2019). Evaluasi Konservasi Dan Preservasi Koleksi Manuskrip Pada Museum Aceh. 50–55. [https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/6682/1/Word Gabung.pdf](https://repository.ar-raniry.ac.id/id/eprint/6682/1/Word%20Gabung.pdf)
- Herlly, B. (2020). *Perancangan Interior Museum B.J Habibie Di Bandung*. 1–23.
- Hermawan, A., & Tiwa, A. S. (2021). Penerapan Algoritma A-Star untuk Pencarian Tempat Kuliner di Kota Tangerang. *Jurnal Sistem Dan Informatika (JSI)*, 104–114. <https://doi.org/10.30864/jsi.v15i2.335>
- Kebudayaan, D. (2023). *Sejarah dan Bahasa*. Kota Yogyakarta. <https://kebudayaan.jogjakota.go.id/>
- Luthfita, D., Pristiwanto, & Aripin, S. (2022). Implementasi Algoritma A* Dalam Menentukan Tarif Minimum Berdasarkan Jarak Terpendek Rute Armada Taksi Bandara. *Journal of Informatics Management and Information Technology*, 2(1), 43–47.
- Pariwisata, D. (2019). *Wisata Museum di Yogyakarta*. Kota Yogyakarta. <https://pariwisata.jogjakota.go.id/>
- Pramudhita, A. C., & Muljono, M. (2018). Aplikasi Sistem Pencarian Halte BRT Terdekat Kota Semarang Menggunakan Metode A* Berbasis Android. *Jurnal RESTI (Rekayasa Sistem Dan Teknologi Informasi)*, 2(1), 430–436. <https://doi.org/10.29207/resti.v2i1.99>
- Susilawati, Rizky, R., Setiyowati, S., & Pratama, A. G. (2020). Penerapan Metode A*Star Pada Pencarian Rute Tercepat Menuju Destinasi Wisata Cagar Budaya Menes Pandeglang.

Geodika: Jurnal Kajian Ilmu Dan Pendidikan Geografi, 4(2), 192–199.
<https://doi.org/10.29408/geodika.v4i2.2754>

Suyanto. (2014). *Artificial Intelligence Searching, Reasoning, Planning dan Learning*. Informatika Bandung.

Syihabuddin, R. F., Jauhari, M. N., Khudzaifah, M., & Fahmi, H. (2022). Implementasi Algoritma A-Star dalam Menentukan Rute Terpendek Destinasi Wisata Kota Malang. *Jurnal Riset Mahasiswa Matematika*, 1(5), 236–245.
<https://doi.org/10.18860/jrmm.v1i5.14497>

Undang-Undang Tahun 1990 No. 9. Kepariwisataaan.