



Pemodelan Navigasi Adaptif Tunadaksa dengan Integrasi Indeks Aksesibilitas dan Algoritma A*: Studi Kasus di Kampus FMIPA UNNES

Galih Kusuma Wijaya^{a,*}, Muharima Sahara^a, Tsalisa Chulaili Syahri Nova^a,
Muhammad Abdul Qodir Dani^a, Ratna Nur Mustika Sanusi^a, Iqbal Kharisudin^a

^a Statistika dan Sains Data, Universitas Negeri Semarang, Semarang 50229, Indonesia

* Alamat Surel: galihkjaya15@students.unnes.ac.id

Abstrak

Hambatan mobilitas bagi penyandang disabilitas daksa umumnya disebabkan oleh kondisi fisik jalur yang tidak seragam seperti kemiringan curam, lebar sempit, atau permukaan tidak rata. Sistem navigasi konvensional belum mampu merepresentasikan kompleksitas tersebut karena hanya berorientasi pada jarak. Penelitian ini berfokus pada pengembangan model algoritmik berbasis Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT) yang mengkuantifikasi empat indikator fisik utama, yaitu kemiringan, lebar jalur, kondisi permukaan, dan hambatan, menggunakan pendekatan fuzzy logic. Skor IAT (0–1) kemudian dikonversi menjadi fungsi biaya (cost function) dalam algoritma pencarian rute A* untuk mengidentifikasi jalur dengan kompromi optimal antara jarak dan aksesibilitas. Studi kasus pada jaringan pedestrian kampus menunjukkan bahwa integrasi IAT ke dalam A* menghasilkan perbedaan signifikan antara rute terpendek dan rute paling aksesibel, sekaligus mampu memetakan segmen berisiko yang menjadi titik lemah aksesibilitas. Temuan ini menegaskan bahwa pendekatan algoritmik dapat berperan sebagai alat evaluasi spasial kuantitatif yang mendukung perencanaan tata ruang dan kebijakan infrastruktur yang lebih inklusif bagi penyandang disabilitas.

Kata kunci:

Tunadaksa, IAT, A*, Navigasi, Inklusif

© 2026 Dipublikasikan oleh Jurusan Matematika, Universitas Negeri Semarang

1. Pendahuluan

Mobilitas mandiri merupakan hak asasi bagi setiap individu (Dumako, 2024). Keterbatasan mobilitas dapat menghambat akses pendidikan, peluang kerja, layanan kesehatan, dan interaksi sosial. Bagi penyandang disabilitas daksa, kemampuan bergerak secara bebas dan aman menjadi prasyarat esensial (Tamba, 2017). Menurut Kemenko PMK, terdapat sekitar 22,97 juta penyandang disabilitas, dengan 8,79 juta orang memiliki masalah pada kaki. Hal itu menunjukkan bahwa aksesibilitas menjadi perhatian penting yang mempengaruhi jutaan warga. Indonesia telah memperhatikan hal itu dengan meratifikasi Konvensi PBB dan melalui Undang-Undang Nomor 8 Tahun 2016 mengenai hak-hak penyandang disabilitas. Selain itu, Pemerintah Pusat dan Daerah telah dituntut menyediakan fasilitas dan layanan publik yang inklusif melalui Peraturan Pemerintah Nomor 42 Tahun 2020 tentang aksesibilitas terhadap permukiman, pelayanan publik, dan perlindungan dari bencana.

Meskipun terdapat regulasi yang kuat, masih ada hambatan dalam pemerataan infrastruktur pedestrian yang ideal (Made et al., 2023). Akibatnya, banyak rute yang belum memadai, dengan permukaan tidak rata, berlubang bahkan terputus. Hambatan rute tersebut sangat bervariasi, mulai dari hambatan yang masih dapat dilewati hingga yang tidak dapat dilalui. Kegagalan sistemik ini menciptakan

To cite this article:

Wijaya, G. K., Sahara, M., Nova, T. C. S., Dani, M. A. Q., Sanusi, R. N. M., & Kharisudin, I. (2026). Pemodelan Navigasi Adaptif Tunadaksa dengan Integrasi Indeks Aksesibilitas dan Algoritma A: Studi Kasus di Kampus FMIPA UNNES. *PRISMA, Prosiding Seminar Nasional Matematika 9*, 376-383

"jurang aksesibilitas." di mana lingkungan fisik menjadi penghalang terbesar untuk mobilitas penyandang disabilitas daksa. Oleh karena itu, dibutuhkan pendekatan teknologi dengan aksesibilitas tinggi untuk mobilitas daksa yang melampaui pencarian rute konvensional.

Untuk menjembatani masalah tersebut, dibutuhkan cara baru dalam melihat jaringan jalur pejalan kaki. Tidak cukup hanya menggambarkan peta atau menghitung jarak terpendek, melainkan juga menilai apakah jalur tersebut benar-benar bisa dilewati oleh pengguna kursi roda atau alat bantu jalan (Dama Priyanti et al., 2021). Faktor-faktor seperti kemiringan, lebar jalan, kondisi permukaan, dan keberadaan hambatan fisik perlu diberi bobot agar bisa diukur secara jelas (Tallar et al., 2023). Dari sini, lahirlah gagasan Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT) yang dapat mengubah kondisi fisik jalur menjadi angka yang mudah dipahami. Dengan adanya indeks ini, sistem navigasi tidak lagi hanya memilih rute yang singkat, tetapi juga rute yang aman dan layak untuk digunakan. Namun, sebagian besar penelitian terdahulu masih terbatas pada pendekatan heuristik atau berbasis preferensi pengguna tanpa mempertimbangkan kondisi spasial yang terukur. Belum banyak studi yang mengintegrasikan indeks aksesibilitas secara kuantitatif ke dalam algoritma pencarian jalur, khususnya dalam konteks lingkungan kampus di Indonesia.

Penelitian terkait pencarian rute aksesibel bagi penyandang disabilitas telah dilakukan dalam berbagai pendekatan, mulai dari penggunaan data spasial, logika *fuzzy*, hingga pemanfaatan sensor dan masukan pengguna. Penelitian oleh (Kasemsuppakorn & Karimi, 2008), merancang sistem navigasi kursi roda dengan memanfaatkan atribut jalan seperti kemiringan, lebar trotoar, dan kondisi permukaan. Bobot untuk setiap fitur aksesibilitas ditentukan melalui metode *Analytic Hierarchy Process (AHP)* berdasarkan preferensi pengguna. Nilai-nilai ini kemudian diproses menggunakan sistem *fuzzy inference* untuk menghasilkan *impedance* (tingkat hambatan) pada setiap segmen jalan, yang digunakan sebagai dasar dalam algoritma Dijkstra. Sementara itu, (Gharebaghi et al., 2021) menawarkan pendekatan yang menggabungkan aspek teknis dan personalisasi pengguna. Pada penelitian tersebut, logika *fuzzy* digunakan untuk menerjemahkan *confidence level* pengguna terhadap hambatan tertentu, seperti permukaan kasar atau kemiringan tajam, ke dalam *cost* fungsi pada sistem graf. Hasilnya adalah rute yang sangat disesuaikan dengan persepsi masing-masing individu. Namun, pendekatan ini menimbulkan tantangan dalam hal skalabilitas dan replikasi karena bersifat subyektif, serta kurang cocok digunakan dalam sistem rute publik yang membutuhkan generalisasi.

Oleh karena itu, penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem navigasi adaptif berbasis Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT) yang diintegrasikan dengan algoritma A* untuk menghasilkan rute yang tidak hanya efisien secara jarak, tetapi juga aman bagi penyandang disabilitas daksa.

2. Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif-deskriptif dengan metode pemodelan spasial berbasis graf terarah (*directed weighted graph*). Tujuan utamanya ialah mengembangkan sistem navigasi adaptif yang mampu menilai dan merekomendasikan rute optimal bagi penyandang disabilitas daksa dengan mempertimbangkan faktor aksesibilitas, bukan hanya jarak geometris.

Desain penelitian terdiri dari empat tahap utama:

1. Akuisisi dan pra-pemrosesan data spasial dari lingkungan kampus.
2. Perumusan Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT) menggunakan pendekatan logika fuzzy.
3. Integrasi IAT ke dalam fungsi biaya (*cost function*) pada jaringan graf.
4. Pencarian rute optimal menggunakan algoritma A* dengan evaluasi komparatif terhadap rute konvensional.

2.1. Akuisisi dan Pra-Pemrosesan Data

Lokasi pengambilan data pada studi ini adalah daerah kampus FMIPA Universitas Negeri Semarang dengan fokus pengambilan data merupakan rute dari gedung Dekanat ke gedung fakultas dan fasilitas

lainnya yang dinilai mewakili kompleksitas trotoar dan jalanan umum. Data dikumpulkan melalui Google Earth dan OpenStreetMap dengan OSMnx serta NetworkX. Data berformat KML yang merupakan hasil unduhan dari Google Earth, hingga kemudian diubah ke dalam format yang siap diolah menjadi *edge* dan *node*.



Gambar 1. Pemetaan rute dengan Google Earth.

Proses pra-pemrosesan mencakup konversi koordinat geografis ke sistem proyeksi WGS84, pemisahan setiap segmen berdasarkan perubahan arah jalur, serta pembersihan data untuk memastikan tidak ada simpul yang terduplikasi. Tahap ini juga mencakup pemberian atribut pada tiap segmen, seperti panjang jalur, kemiringan, lebar, kondisi permukaan, dan keberadaan hambatan fisik seperti tangga, saluran air, atau tiang permanen dengan cara observasi lapangan. Hasil pengukuran ini digunakan untuk memperbarui atribut fisik pada dataset dan memastikan bahwa nilai yang digunakan dalam pemodelan benar-benar mencerminkan kondisi eksisting di lapangan. Data pra-pemrosesan kemudian disiapkan untuk tahap selanjutnya, yaitu perhitungan Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT).

Tabel 1. Data setelah melalui proses preprocessing.

u	v	length	geometry	route
N0000	N0001	40.5989	LINESTRING (110.3935896927524 7.050506494765893, 110.3932223488136 7.050515971926623)	Dekanat to Gedung D1
N0001	N0002	84.03092	LINESTRING (110.3932223488136 7.050515971926623, 110.3931110576834-7.049 764315313487)	Dekanat to Gedung D1 (2)
N0002	N0003	111.63993	LINESTRING (110.3931110576834- .049764315313487, 110.3941122888712 7.049628140083351)	Dekanat to Gedung D1 (3)

2.2. Perumusan Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT)

Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT) dikembangkan untuk mengukur kelayakan fisik tiap segmen jalur pejalan kaki berdasarkan prinsip kuantifikasi aksesibilitas. Nilai IAT berada pada rentang 0 hingga 1, di mana nilai 1 menunjukkan jalur sangat aksesibel, sedangkan 0 menunjukkan jalur tidak dapat diakses oleh pengguna kursi roda.

Empat indikator fisik utama digunakan sebagai pembentuk IAT, yaitu:

1. Kemiringan jalur: diukur dalam persen, dengan batas ideal di bawah 8% dan tidak layak di atas 12%, sesuai dengan Permen PUPR No. 03/PRT/M/2024/
2. Lebar jalur: jalur dengan lebar lebih dari 1,8 m dikategorikan aksesibel, sedangkan kurang dari 1,2 m dianggap tidak layak (Permen PUPR No. 07/PRT/M/2023).
3. Kondisi permukaan: dikategorikan berdasarkan hasil observasi; rata ($\mu = 1$), agak kasar ($\mu = 0,5$), dan rusak berat ($\mu = 0$).
4. Hambatan fisik: ditentukan berdasarkan keberadaan rintangan permanen seperti tangga atau tiang. Segmen tanpa hambatan diberi nilai $\mu = 1$, dengan hambatan ringan $\mu = 0,5$, dan hambatan berat $\mu = 0$.

2.3. Fungsi Keanggotaan Fuzzy

Setiap variabel dikonversi ke dalam fungsi keanggotaan fuzzy $\mu_i(x)$ berbentuk *linear-trapezoidal* untuk merepresentasikan tingkat aksesibilitas. Nilai akhir IAT dihitung sebagai rata-rata aritmetika dari keempat variabel:

$$IAT_f = \frac{1}{4} \sum_{i=2}^4 \mu_i(x) \quad (1)$$

Seluruh nilai IAT kemudian dinormalisasi ke dalam skala kontinu $[0, 1]$ untuk memastikan konsistensi antarsegmen. Hasil normalisasi ini menjadi dasar pemberian bobot pada sisi (*edge weight*) di graf jaringan pedestrian yang digunakan dalam algoritma pencarian rute. Nilai tersebut diklasifikasikan ke dalam tiga kategori sebagaimana Tabel 2.li

Tabel 2. Data setelah melalui proses preprocessing.

Skor IAT	Kategori	Interpretasi
≥ 0.80	Aksesibel	Layak sepenuhnya bagi pengguna kursi roda
$0.60 - 0.79$	Terbatas	Dapat dilalui dengan pendamping
< 0.60	Tidak Aksesibel	Memerlukan modifikasi medan

Apabila segmen mengandung tangga atau penghalang vertikal, nilainya diset langsung ke $IAT = 0$, karena tidak dapat diakses secara fungsional oleh pengguna kursi roda.

2.4. Algoritma A*

Algoritma A* merupakan salah satu algoritma pencarian rute yang paling banyak digunakan dalam sistem navigasi dan perencanaan rute. Algoritma ini bekerja dengan prinsip optimasi biaya kumulatif dari simpul awal ke simpul tujuan menggunakan kombinasi antara biaya aktual (g) dan estimasi jarak heuristik (h) (Tang et al., 2021). Dengan demikian, A* mampu menemukan rute terpendek secara efisien dibanding algoritma Dijkstra konvensional yang tidak mempertimbangkan heuristik. Secara matematis, setiap simpul n dievaluasi menggunakan fungsi biaya total:

$$f(n) = g(n) + h(n) \quad (2)$$

dengan:

- $g(n)$: biaya sebenarnya dari simpul awal menuju simpul n .
- $h(n)$: estimasi biaya dari simpul n menuju simpul tujuan berdasarkan jarak Euclidean, yaitu:

$$h(n) = \sqrt{(x_n - x_g)^2 + (y_n - y_g)^2} \quad (3)$$

Algoritma ini memiliki keunggulan karena optimal dan lengkap, artinya selalu menemukan lintasan terbaik jika fungsi heuristik $h(n)$ tidak melebihi biaya aktual minimum (Duchon et al., 2014). Efisiensi pencarian A* menjadikannya cocok untuk aplikasi spasial seperti perencanaan jalur robotik, sistem GIS, serta navigasi berbasis jaringan jalan.

2.5. Integrasi IAT dalam Algoritma A*

Setelah seluruh segmen jalur pedestrian memperoleh nilai Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT), langkah selanjutnya adalah mengintegrasikan nilai tersebut ke dalam struktur jaringan graf yang akan diproses oleh algoritma A*. Tujuannya ialah mengubah sistem pencarian rute konvensional yang hanya berorientasi pada jarak menjadi sistem navigasi yang juga mempertimbangkan tingkat aksesibilitas. Setiap jalur antar simpul direpresentasikan sebagai *edge* dengan dua parameter utama, yaitu panjang jalur (L_e) dan nilai aksesibilitas (IAT_e). Untuk menjadikan aksesibilitas sebagai faktor penentu dalam perhitungan jalur, dirumuskan fungsi biaya (*cost function*) sebagai berikut:

$$Cost_e = (1 - IAT_e) \times L_e \quad (4)$$

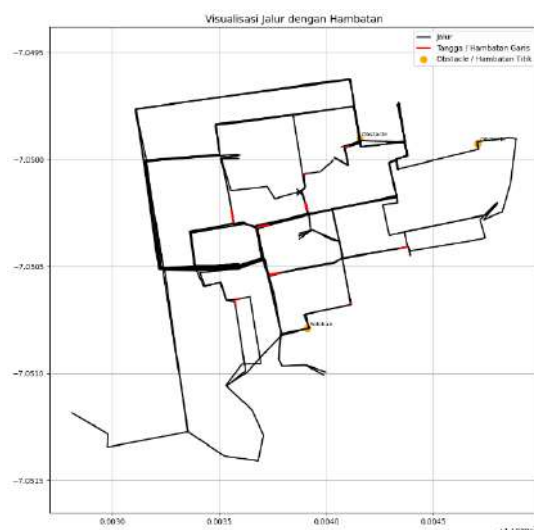
Persamaan ini menunjukkan bahwa semakin rendah nilai IAT pada suatu segmen (semakin tidak aksesibel), maka biaya totalnya akan meningkat secara proporsional. Sebaliknya, segmen dengan aksesibilitas tinggi (IAT mendekati 1) akan memiliki bobot biaya yang lebih kecil, sehingga lebih diprioritaskan oleh algoritma A*. Dalam konteks ini, fungsi evaluasi total A* dituliskan pada persamaan (2), dengan penyesuaian bahwa nilai $g(n)$ bukan lagi jarak geometris kumulatif, melainkan akumulasi biaya aksesibilitas dari simpul awal hingga simpul n , sebagaimana dirumuskan:

$$g(n) = \sum Cost_e = \sum (1 - IAT_e) \times L_e \quad (5)$$

Sedangkan fungsi heuristik $h(n)$ tetap menggunakan jarak Euclidean untuk menjaga kestabilan arah pencarian menuju simpul tujuan (Liao et al., 2024). Integrasi IAT pada fungsi $g(n)$ ini membuat A* berperilaku adaptif, di mana jalur yang dihasilkan bukan hanya terpendek secara spasial, melainkan juga paling layak dilalui oleh pengguna kursi roda.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Gambaran Umum Area dan Data



Gambar 2. Visualisasi jalur dengan hambatan.

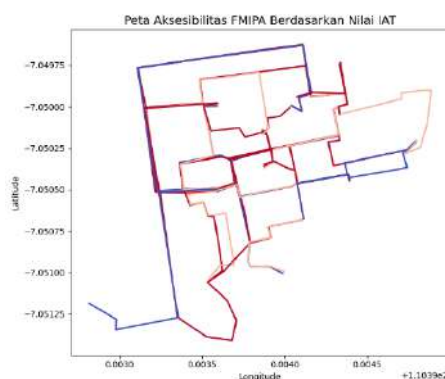
Kawasan penelitian mencakup kompleks Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA) Universitas Negeri Semarang, yang secara topografis berada di area berbukit dengan variasi elevasi yang cukup kontras antar gedung. Kondisi tersebut menjadikan wilayah ini ideal untuk menguji model navigasi adaptif berbasis aksesibilitas, sebab banyak jalur pedestrian yang memiliki kemiringan, lebar, dan

hambatan berbeda. Berdasarkan hasil digitasi (Gambar 2) dari Google Earth dan OpenStreetMap (OSM), diperoleh jaringan jalur pedestrian yang terdiri atas 54 simpul (*node*) dan 27 sisi (*edge*), yang merepresentasikan hubungan antar-titik akses pejalan kaki.

Hasil pra-pemrosesan menunjukkan bahwa beberapa segmen jalur memiliki hambatan fisik seperti tangga, selokan terbuka, dan perbedaan elevasi tajam yang dapat menyulitkan pengguna kursi roda. Gambar 2 memperlihatkan visualisasi hasil pemetaan jalur dengan hambatan yang ditandai dalam bentuk garis merah untuk hambatan linear (tangga dan *ramp* curam) serta titik oranye untuk hambatan titik seperti selokan atau permukaan tidak rata. Dari gambar tersebut tampak bahwa sebagian besar hambatan terkonsentrasi di jalur tengah hingga selatan area penelitian. Sementara itu, jalur utama di area barat relatif lebih halus dan lebar sehingga dapat dikategorikan sebagai aksesibel. Visualisasi ini menjadi landasan awal dalam tahap analisis indeks aksesibilitas, karena memudahkan proses identifikasi segmen yang perlu evaluasi lanjutan.

3.2. Analisis Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT)

Tahapan ini bertujuan untuk menilai tingkat aksesibilitas setiap segmen jalur pedestrian menggunakan Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT), yang dihitung berdasarkan empat parameter utama yaitu kemiringan jalur, lebar jalur, kondisi permukaan, dan keberadaan hambatan fisik. Keempat parameter tersebut dikonversi ke dalam nilai keanggotana *fuzzy* dengan rentang 0-1 untuk merepresentasikan tingkat kelayakan akses. Nilai total diperoleh dari rata-rata empat variabel tersebut, di mana skor mendekati 1 menunjukkan kondisi jalur yang semakin aksesibel, sedangkan skor mendekati 0 menunjukkan hambatan signifikan bagi pengguna kursi roda atau alat bantu gerak.



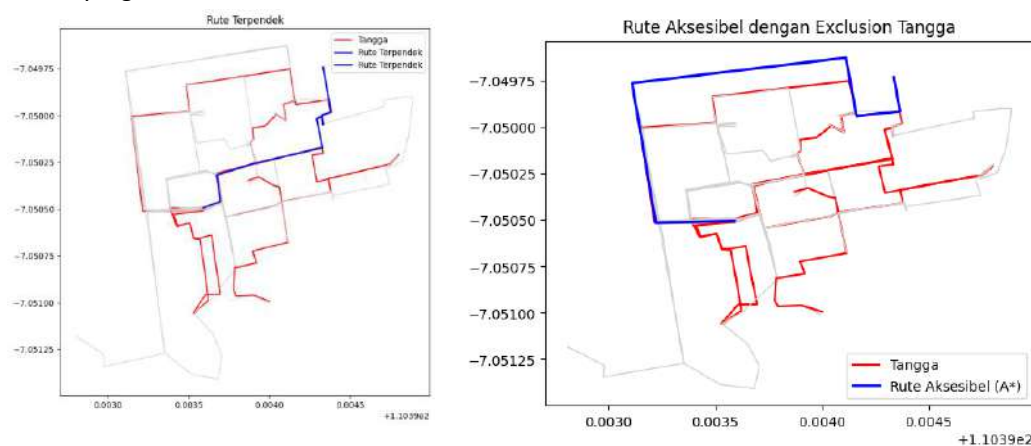
Gambar 3. Peta tematik nilai IAT.

Beberapa segmen utama, seperti bagian barat dan utara, memiliki nilai tinggi di atas 0,8 dan dikategorikan sebagai aksesibel. Sebaliknya, jalur yang mengarah ke bagian selatan menunjukkan nilai IAT sekitar 0,5, menandakan jalur tersebut tidak memenuhi standar kemiringan dan permukaan yang sesuai untuk penyandang disabilitas daksa. Hasil ini divisualisasikan dalam Gambar 3, yang memperlihatkan peta distribusi spasial nilai IAT pada jaringan pedestrian FMIPA. Jalur dengan warna merah merepresentasikan segmen dengan nilai rendah (tidak aksesibel), sedangkan warna biru menunjukkan area dengan nilai tinggi (aksesibel). Dari peta tersebut tampak bahwa segmen dengan nilai IAT rendah terkonsentrasi di bagian tengah kawasan, yang merupakan area dengan perbedaan elevasi cukup besar.

Secara keseluruhan, visualisasi peta distribusi ini memperlihatkan bahwa sistem kuantifikasi IAT efektif untuk menggambarkan kondisi aksesibilitas spasial. Peta IAT tidak hanya menunjukkan nilai numerik tetapi juga mengkomunikasikan aspek fungsionalitas jalur dalam konteks pergerakan penyandang disabilitas. Nilai-nilai ini kemudian digunakan sebagai dasar pembobotan pada model graf dalam tahap pencarian rute dengan algoritma A*.

3.3. Penerapan Algoritma A*

Implementasi algoritma A* pada jaringan pedestrian FMIPA UNNES dilakukan dalam dua skenario utama, yaitu A* konvensional (berbasis jarak murni) dan A* + IAT (berbasis bobot aksesibilitas). Tujuan utama tahap ini adalah membandingkan efektivitas kedua pendekatan dalam menghasilkan rute yang tidak hanya efisien secara jarak, tetapi juga sesuai dengan prinsip aksesibilitas universal. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa perbedaan bobot pada fungsi biaya memberikan dampak signifikan terhadap lintasan yang dihasilkan.



Gambar 4. (a) Rute terpendek (A*)

(b) Rute A* dengan bobot IAT.

Pada model A* konvensional, sistem memilih rute dengan panjang total 159,8 meter, namun melewati satu segmen yang mengandung tangga (Gambar 3a). Karena tangga merupakan hambatan permanen bagi pengguna kursi roda, maka segmen tersebut diberi nilai IAT = 0, menjadikan keseluruhan rute tidak layak secara aksesibilitas meskipun efisien secara geometris. Sebaliknya, pada model A* dengan bobot IAT, model secara otomatis menghindari segmen bertangga dan memilih jalur alternatif yang memiliki panjang total 265,4 meter dengan rata-rata nilai IAT sebesar 0,8 (Gambar 3b). Meskipun lebih panjang sekitar 66%, jalur ini jauh lebih aman dan layak digunakan oleh penyandang disabilitas daksa karena mempertahankan permukaan datar dan kemiringan rendah di bawah 8 derajat..

Dari sisi performa komputasi, waktu eksekusi antara kedua algoritma relatif identik (<1 detik), yang berarti integrasi IAT tidak menambah beban signifikan terhadap proses perhitungan. Efektivitas pembobotan $(1 - IAT) \times L$ terbukti meningkatkan kemampuan algoritma dalam menghindari area berisiko tanpa menurunkan efisiensi keseluruhan sistem. Dengan demikian, penerapan A* dengan bobot IAT memberikan hasil rute yang lebih adaptif, aman, dan representatif terhadap kebutuhan pengguna disabilitas daksa, sekaligus menunjukkan potensi model ini untuk diterapkan secara luas dalam sistem navigasi spasial berbasis aksesibilitas.

3.4. Analisis Komparatif dan Implikasi

Hasil komparatif menunjukkan bahwa algoritma A* dengan bobot IAT memberikan peningkatan substantif terhadap kualitas lintasan meskipun jarak tempuh meningkat. Jalur hasil A* konvensional sepanjang 159,8 meter memiliki rata-rata IAT = 0,7 dengan satu segmen tidak dapat dilalui (IAT = 0) dikarenakan keberadaan tangga, sedangkan jalur hasil A* dengan bobot IAT sepanjang 265,4 meter memiliki rata-rata IAT = 0,8 dan bebas hambatan fisik. Peningkatan aksesibilitas sebesar 14,3% ini disertai eliminasi total terhadap hambatan vertikal, yang menandakan keberhasilan model dalam menyeimbangkan antara efisiensi spasial dan kenyamanan pengguna. Dengan akta lain, rute yang lebih panjang tidak berarti kurang efisien secara fungsional, karena mampu memastikan mobilitas berkelanjutan tanpa intervensi fisik tambahan.

Temuan ini menegaskan bahwa sistem navigasi konvensional yang hanya mengandalkan jarak geometris belum cukup untuk menjawab kebutuhan mobilitas inklusif. A* dengan bobot IAT mengubah parafigma pencarian rute dari sekadar efisiensi matematis menjadi optimasi berbasis *user-context*, di mana aspek keamanan dan keterjangkauan fisik turut diperhitungkan. Model ini merepresentasikan langkah konkret menuju konsep *Smart Mobility* berbasis *human-centered design*, yang berfokus pada pengalaman pengguna akhir alih-alih semata pada waktu tempuh.

Dari sisi implementasi, penerapan indeks IAT dalam sistem navigasi spasial membuka peluang untuk membangun peta aksesibilitas dinamis pada lingkungan kampus. Dengan integrasi ke dalam *platform* GIS, sistem dapat memberikan rekomendasi jalur *real-time* yang mempertimbangkan kondisi medan. Bagi Universitas Negeri Semarang, pendekatan ini dapat menjadi fondasi pengembangan peta inklusif FMIPA sebagai model awal perencanaan fasilitas ramah disabilitas. Dari perspektif kebijakan publik, hasil ini mendukung implementasi Permen PUPR No. 03/2024 serta sejalan dengan SDG 11 (Sustainable Cities and Communities). Kuantifikasi IAT memberikan dasar ilmiah bagi pengambilan kebijakan untuk menetapkan prioritas renovasi berbasis data, seperti memperbaiki segmen dengan IAT < 0,6 dan memperluas jalur dengan IAT > 0,8. Pendekatan semacam ini menempatkan data spasial sebagai instrumen keadilan sosial, memastikan setiap individu memiliki kesempatan mobilitas yang setara di lingkungan kampus maupun ruang publik lainnya.

4. Simpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan Indeks Aksesibilitas Tunadaksa (IAT) sebagai fungsi biaya dalam algoritma A* mampu menghasilkan rute yang lebih aman dan inklusif bagi penyandang disabilitas daksa. Hasil perbandingan menunjukkan bahwa meskipun rute berbasis IAT sedikit lebih panjang dibanding rute terpendek, kualitasnya jauh lebih baik karena menghindari hambatan kritis seperti tangga dan *ramp* curam, serta meningkatkan rata-rata skor aksesibilitas jalur. Hal ini membuktikan bahwa aksesibilitas dapat diukur secara konsisten dan dijadikan kriteria utama dalam sistem navigasi adaptif. Untuk pengembangan selanjutnya, disarankan agar penelitian serupa mengintegrasikan data spasial yang lebih presisi (misalnya LiDAR atau DEM), menambahkan variabel dinamis seperti cuaca dan kepadatan pejalan kaki, serta membuka ruang personalisasi bobot IAT sesuai profil pengguna. Hasil dari penelitian ini diharapkan mampu memberikan rekomendasi penggunaan peta nilai IAT untuk menetapkan segmen prioritas perbaikan infrastruktur, sehingga tercipta lingkungan yang lebih ramah disabilitas, sekaligus menjadi model yang dapat direplikasi pada skala perkotaan dalam mewujudkan tata ruang inklusif.

Daftar Pustaka

- Dama Priyanti, S., Pujiati, A., Pembangunan, E., Ekonomi, F., & Semarang, U. N. (2021). Evaluation of The Provision of Pedestrian Paths for Persons with Disabilities in Temanggung Regency. *Indicators : Journal of Economic and Business*, 3(1), 49–60. <https://doi.org/10.47729/INDICATORS.V3I1.79>
- Duchon, F., Babinec, A., Kajan, M., Beno, P., Florek, M., Fico, T., & Jurišica, L. (2014). Path Planning with Modified a Star Algorithm for a Mobile Robot. *Procedia Engineering*, 96, 59–69. <https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2014.12.098>
- Dumako, A. R. (2024). Fulfillment of the Health Rights of Persons with Disabilities. *Jurnal Pendidikan Amarta*, 3(2), 1717–1725. <https://doi.org/10.57235/QISTINA.V3I2.4254>
- Gharebaghi, A., Mostafavi, M. A., Edwards, G., & Fougeyrollas, P. (2021). User-specific route planning for people with motor disabilities: A fuzzy approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 10. <https://doi.org/10.3390/ijgi10020065>

- Kasemsuppakorn, P., & Karimi, H. A. (2008). Data requirements and a spatial database for personalized wheelchair navigation. *Proceedings of the 2nd International Convention on Rehabilitation Engineering & Assistive Technology*, 31–34.
- Liao, T., Chen, F., Wu, Y., Zeng, H., Ouyang, S., & Guan, J. (2024). Research on Path Planning with the Integration of Adaptive A-Star Algorithm and Improved Dynamic Window Approach. *Electronics* 2024, Vol. 13, Page 455, 13(2), 455. <https://doi.org/10.3390/ELECTRONICS13020455>
- Made, N., R, I., Dharmawan, N. K. S., Dewi, A. A. I. A. A. A., & Dewi, A. A. I. A. A. A. (2023). Protection of Tourism Rights for Persons with Disabilities. *International Journal of Educational Research & Social Sciences* , 4(4), 657–662. <https://doi.org/10.51601/IJERSC.V4I4.684>
- Tallar, R. Y., Tanuwidjaja, G., Widjaya, J. M., & Razafimahefa, R. (2023). Accessible pedestrian paths for educational setting design evaluation: Case study in Surabaya and Bandung City, Indonesia and Brisbane City, Australia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1195(1), 012055. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1195/1/012055>
- Tamba, J. (2017). A Juridical Study toward Indonesian Disabilities Right for Public Services Accessibility according to Law No. 8 Year 2016. *Indonesian Journal of Disability Studies*, 4(1), 63–68. <https://doi.org/10.21776/UB.IJDS.2017.4.1.9>
- Tang, G., Tang, C., Claramunt, C., Hu, X., & Zhou, P. (2021). Geometric A-Star Algorithm: An Improved A-Star Algorithm for AGV Path Planning in a Port Environment. *IEEE Access*, 9, 59196–59210. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3070054>