DEWANTECH Jurnal Teknologi Pendidikan
Vol. 3, No. 3, Desember 2025, pp. 41 – 52
ISSN: 3025-0978
Open Access: https://journal.awatarapublisher.com/index.php/dewantech

PENGEMBANGAN DAN EVALUASI TEKNIS PROTOTIPE WEBGIS AKSES PEJALAN KAKI SEKITAR SEKOLAH UNTUK PEMBELAJARAN GEOGRAFI SMA

Risa Herdiyana Bastian[1], Bahtiar[2], Muhamad Sholeh[1]
[1] Pendidikan Jasmani Kesehatan dan Rekreasi, Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon, Kota Cirebon, Indonesia
[2] Perbankan Syariah, Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon, Kota Cirebon, Indonesia

e-mail: risa-herdiyana-bastian@unucirebon.ac.id[1], bahtiar@unucirebon.ac.id[2], muhammadsholeh047@gmail.com[3]

INFO ARTIKEL
Riwayat Artikel:
Diterima 18 September 2025
Direvisi 30 November 2025
Disetujui 21 Desember 2025

KEYWORDS
Geography education
Design science research
Synthetic data
Spatial thinking
GeoJSON

ABSTRACT

Geography lessons on pedestrian access can stop at symbol recognition without requiring students to justify why two routes differ. This study developed a WebGIS prototype that supports reasoning about pedestrian access around a school in senior high school geography. A design science research approach guided problem identification, specification, construction, demonstration, technical evaluation, and documentation. A synthetic dataset of 19 labelled features (paths, crossings, obstacles, and facilities) within a designed 500 m radius supplied the demonstration content; no students, teachers, or real school locations were involved. The prototype provides layer controls, attribute inspection, two-route comparison, point entry, a summary dashboard, and validated GeoJSON exchange. All 28 automated checks passed in one Chromium environment. The two fixed synthetic routes measured about 360 m and 720 m, with sidewalk coverage of 100% and 75%, respectively. A 90-minute activity is designed to link these outputs to claim-evidence-reasoning arguments. The results establish technical functionality in the tested scenarios only; content validity, teacher needs, classroom usability, positional accuracy in real settings, and learning effectiveness remain untested.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License.

KATA KUNCI
Pendidikan geografi
Design science research
Data sintetis
Berpikir spasial
GeoJSON

CORRESPONDING AUTHOR
Risa Herdiyana Bastian
Universitas Nahdlatul Ulama Cirebon
Kota Cirebon
risa-herdiyana-bastian@unucirebon.ac.id

ABSTRAK

Pembelajaran akses pejalan kaki dapat berhenti pada pengenalan simbol tanpa menuntut siswa menjelaskan mengapa dua rute berbeda. Penelitian ini mengembangkan prototipe WebGIS untuk mendukung penalaran akses pejalan kaki di sekitar sekolah pada pembelajaran geografi SMA. Pendekatan design science research memandu identifikasi masalah, penyusunan spesifikasi, pembangunan, demonstrasi, evaluasi teknis, dan dokumentasi. Sebanyak 19 fitur sintetis berlabel (segmen, penyeberangan, hambatan, dan fasilitas) dalam radius rancangan 500 m menjadi isi demonstrasi; tidak ada siswa, guru, maupun lokasi sekolah nyata yang dilibatkan. Prototipe menyediakan pengaturan layer, pemeriksaan atribut, perbandingan dua rute, formulir titik, dashboard ringkasan, serta pertukaran GeoJSON tervalidasi. Seluruh 28 pemeriksaan otomatis lulus pada satu lingkungan Chromium. Dua rute sintetis tetap memiliki panjang sekitar 360 m dan 720 m dengan cakupan trotoar masing-masing 100% dan 75%. Aktivitas 90 menit dirancang untuk menghubungkan keluaran tersebut dengan argumentasi klaim, bukti, dan alasan. Hasil hanya menunjukkan fungsi teknis pada skenario yang diuji; validitas materi, kebutuhan guru, kegunaan di kelas, akurasi posisi lapangan, dan efektivitas pembelajaran belum diuji.

PENDAHULUAN

Akses pejalan kaki di lingkungan sekolah merupakan konteks yang dekat dengan kehidupan siswa untuk membahas lokasi, jarak, keterhubungan, dan pola ruang. Namun, rancangan ini bertolak dari asumsi bahwa pengenalan simbol jalan saja belum cukup untuk menjelaskan mengapa dua lintasan menuju tujuan yang sama dapat menawarkan pengalaman akses yang berbeda; asumsi ini belum diuji pada guru atau siswa. Penelitian Bianchi et al. (2023) menghubungkan karakter ruang depan sekolah dengan kemungkinan mobilitas aktif, sedangkan Lee dan Lee (2021) menelaah hubungan lingkungan dan pemilihan rute anak sekolah. Kedua kajian tersebut mendukung pemilihan konteks akses sebagai objek pembelajaran, tetapi tidak menjadi bukti kondisi jalan di sekolah Indonesia.

WebGIS menawarkan kesempatan menghubungkan objek spasial dengan atribut yang dapat diperiksa secara langsung. Kajian Cao et al. (2024) pada pendidikan tinggi serta Duarte et al. (2022) menunjukkan relevansi penggunaan GIS dalam kajian berpikir spasial. Generalisasi temuan tersebut ke siswa SMA memerlukan kehati-hatian karena karakter peserta, materi, dan dukungan instruksional berbeda. Pada konteks sekolah menengah, Hickman (2023) menekankan persoalan pengembangan sekaligus penilaian kompetensi spasial. Dengan demikian, keberhasilan mengoperasikan peta perlu dibedakan dari kemampuan menjelaskan hubungan spasial.

Di Indonesia, perhatian pada WebGIS untuk geografi SMA terutama diarahkan pada kemampuan berpikir spasial. Santoso et al. (2021) dalam prosiding ICESS 2021 menelaah pemanfaatan WebGIS di SMA dan menempatkan sifatnya yang berbasis peramban, tanpa pemasangan perangkat lunak, serta dapat dipakai lintas perangkat sebagai keunggulan implementasi. Somantri dan Hamidah (2023) melaporkan pelatihan kecerdasan spasial berbasis webGIS bagi guru geografi, sedangkan Safira et al. (2024) menguji model pembelajaran yang memadukan Google Earth pada kelas XI. Berdasarkan judul dan abstraknya, ketiga studi tersebut tidak mengangkat akses pejalan kaki di sekitar sekolah sebagai konteks argumentasi geografis. Studi Safira et al. (2024) juga memperlihatkan bahwa bukti efektivitas untuk media peta digital di kelas XI masih bertumpu pada rancangan kuasi-eksperimen berskala kecil.

Perancangan media juga perlu memperhatikan kompleksitas representasi. Yamauchi et al. (2025) menunjukkan bahwa kemudahan penggunaan peta digital dan kesulitan menafsirkan informasi geografis dapat hadir bersamaan. Song et al. (2023) menempatkan perangkat dan pendekatan kurikulum sebagai faktor penting dalam penggunaan WebGIS untuk pendidikan pengurangan risiko bencana. Temuan pada tema bencana tersebut merupakan bukti berdekatan, bukan bukti langsung efektivitas media akses pejalan kaki. Implikasinya bagi rancangan ini adalah pembatasan jumlah *layer* dan penyediaan tugas yang mengharuskan penafsiran, bukan hanya eksplorasi bebas.

Inkuiri geografis mengaitkan pertanyaan, data, representasi, analisis, dan refleksi. Lee (2023) memberikan kerangka aktivitas yang menghubungkan teknologi dengan tujuan pembelajaran. Kriewaldt et al. (2023) menyoroti peran bimbingan guru dalam penggunaan konsep geografis dan justifikasi keputusan. Sementara itu, Yan et al. (2023) pada pendidikan GIS tingkat tinggi menempatkan pembelajaran sebagai sistem yang memerlukan kesesuaian antarkomponen. Rancangan media karena itu perlu disertai sintaks tugas, bukti kerja siswa, dan instrumen penilaian yang sesuai.

Kajian teknis akses sekolah memakai pendekatan yang lebih kompleks daripada sekadar menghitung jumlah hambatan. Swami et al. (2024), misalnya, menggabungkan survei pemangku kepentingan, evaluasi koridor, dan simulasi. Salvo et al. (2024) memodelkan keterkaitan rute perjalanan sekolah dengan kinerja lalu lintas. Prototipe pendidikan ini tidak menggantikan pendekatan tersebut. Indikator sederhana dipilih untuk membantu siswa menjelaskan perbedaan lintasan, tanpa menghasilkan skor keselamatan atau rekomendasi navigasi.

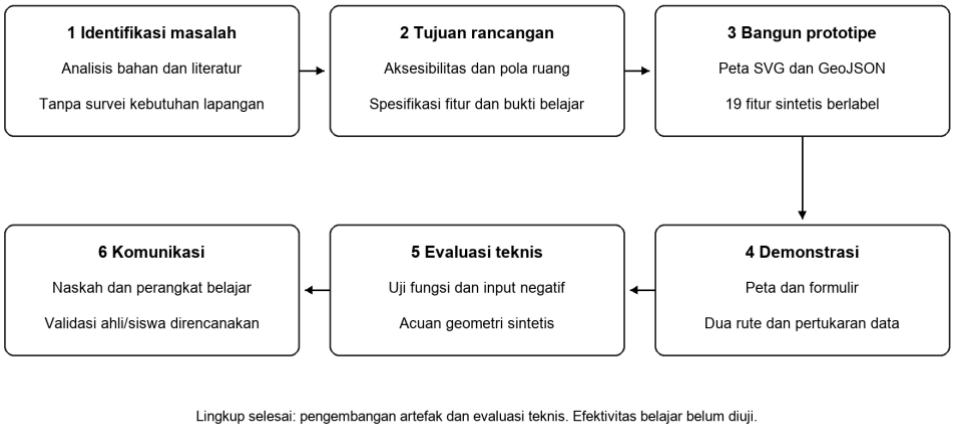
Celah rancangan yang ditangani adalah kebutuhan menghubungkan atribut observasi, perbandingan rute, dan argumen geografis dalam satu artefak pembelajaran yang dapat diperiksa. Penelusuran terarah ini tidak membuktikan bahwa integrasi tersebut belum pernah dibuat. Tujuan penelitian adalah mengembangkan prototipe WebGIS lokal untuk pembelajaran akses pejalan kaki dan mengevaluasi fungsinya secara teknis. Kontribusinya berupa prototipe, skema data sintetis, evaluasi fungsi yang dapat diulang, dan perangkat aktivitas yang dapat ditelaah pakar sebelum uji kelas. Pertanyaan penelitian adalah bagaimana kebutuhan pembelajaran akses dapat diwujudkan dalam fungsi WebGIS, sejauh mana implementasi memenuhi skenario teknis yang ditetapkan, serta bagaimana keluaran peta dapat menjadi bahan argumentasi siswa. Pertanyaan mengenai peningkatan hasil belajar berada di luar lingkup evaluasi saat ini.

METODE PENELITIAN

Desain dan batas penelitian

Penelitian menggunakan *Design Science Research* dengan orientasi pembangunan dan evaluasi artefak. Pilihan ini sejalan dengan Huseynli et al. (2022) yang membahas keterlacakan penciptaan artefak sistem informasi. Penelitian ini mengadaptasi orientasi tersebut menjadi enam langkah operasional, tanpa mengklaim mereplikasi seluruh metode mereka. Analisis kebutuhan dilakukan melalui bahan rancangan dan literatur, belum melalui wawancara guru atau survei sekolah. Kebutuhan pengguna karena itu diperlakukan sebagai asumsi rancangan, dan relevansinya bagi guru masih harus dibuktikan melalui wawancara atau validasi ahli sebelum prototipe dinyatakan sesuai kebutuhan kelas. Unit analisis yang benar-benar diperiksa ialah fitur perangkat lunak, geometri uji, dan keluaran data. Tidak ada populasi atau sampel siswa yang dilibatkan, sehingga penelitian ini tidak melibatkan peserta manusia.

Langkah pengembangan meliputi identifikasi masalah, penyusunan tujuan dan spesifikasi, pembangunan prototipe, demonstrasi skenario, evaluasi teknis, dan dokumentasi. Gambar 1 merangkum langkah yang diselesaikan dan tahap validasi lanjutan. Telaah pustaka bersifat terarah, bukan tinjauan sistematis: sumber dicari melalui mesin pencari web, laman penerbit, dan metadata Crossref serta OpenAlex, dengan prioritas artikel jurnal dan prosiding terbitan 2021 sampai 2025. Klaim pada naskah dibatasi pada isi yang dapat dipastikan dari abstrak atau laman penerbit.



Gambar 1 Alur pengembangan artefak dan batas evaluasi

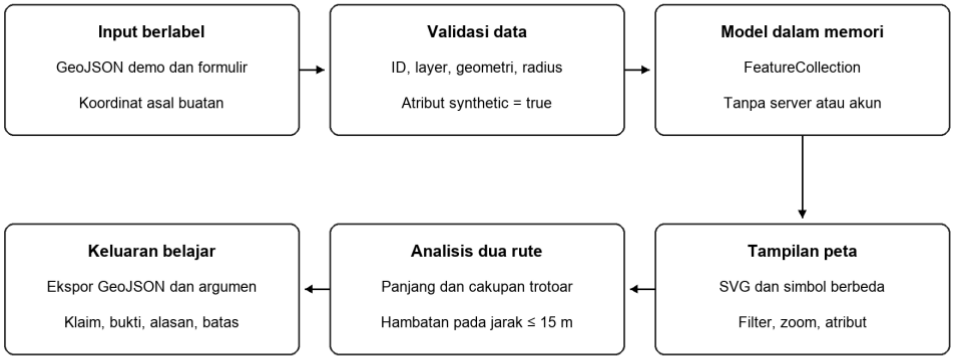
Data sintetis dan spesifikasi artefak

Data dibuat secara deterministik tanpa pengacakan. Titik asal buatan ditetapkan pada koordinat 0°, 0° sebagai jangkar komputasi; titik tersebut tidak menunjuk sekolah nyata. Simpul jaringan berada pada kombinasi posisi relatif −180, 0, dan 180 m. Koordinat disimpan dengan urutan bujur dan lintang, mengikuti GeoJSON dalam RFC 7946 (Butler et al., 2016). Peta dasar skematis

dibangun sendiri dengan grid dan simbol sehingga tidak memerlukan layanan *tile*, data OpenStreetMap, atau atribusi peta pihak ketiga. Ketelitian posisi lapangan tidak dapat ditentukan dari dataset ini.

Dataset terdiri atas 19 fitur: sepuluh *LineString* untuk segmen, dua *Point* penyeberangan, tiga *Point* hambatan, dan empat *Point* fasilitas. Setiap fitur memiliki ID unik, nama, *layer*, sumber sintetis, serta atribut *synthetic* bernilai *true*. Segmen memiliki status keberadaan trotoar, sedangkan hambatan dibedakan menjadi permukaan dan terhalang. Penyeberangan ditampilkan sebagai titik informasi dan belum menjadi simpul pengarah jaringan. Tidak terdapat foto siswa, lokasi rumah, atau identitas pribadi.

Prototipe dibangun sebagai HTML, CSS, JavaScript, dan SVG yang dapat dibuka lokal. Keadaan data disimpan di memori halaman dan hilang ketika halaman dimuat ulang jika belum diekspor. Impor menerima *FeatureCollection* dengan maksimum 1000 fitur dan ukuran berkas maksimum 2 MB. Validasi memeriksa ID unik, kecocokan geometri dan *layer*, tipe koordinat, atribut wajib, serta batas radius 500 m. Impor hanya menerima data berlabel sintetis; penerapan lokasi sekolah nyata memerlukan pengembangan dan protokol terpisah. Gambar 2 memperlihatkan arsitektur yang diimplementasikan.



Gambar 2 Arsitektur prototipe WebGIS lokal

Indikator dan analisis rute

Indikator pembelajaran meliputi keberadaan trotoar, keterhubungan lintasan, hambatan yang berdekatan dengan rute, serta lokasi penyeberangan dan fasilitas. Keterhubungan dinilai pada rangkaian segmen yang dipilih secara manual dari jaringan demonstrasi, bukan melalui algoritma pencarian jalur. Rute A terdiri atas s1 dan s2, sedangkan rute B terdiri atas s6, s5, s4, dan s3. Keduanya menghubungkan sekolah demo dengan taman demo melalui sisi jaringan yang berbeda. Perbandingan tidak mengoptimalkan keselamatan atau waktu perjalanan.

Panjang rute L dihitung sebagai jumlah jarak antartitik segmen menggunakan rumus *haversine* dengan radius bumi 6.371.000 m. Cakupan trotoar C dihitung dengan Persamaan (1), dengan Li panjang segmen dan ti bernilai 1 apabila trotoar tersedia, serta 0 apabila tidak tersedia.

$$C = 100 \times \frac{\sum_i L_i t_i}{\sum_i L_i} \quad (1)$$

Indikator ini menggambarkan proporsi panjang, bukan kualitas, lebar efektif, kemiringan, atau kelayakan untuk seluruh pengguna. Nilai tanpa observasi harus dicatat sebagai tidak diketahui pada pengembangan lapangan berikutnya, bukan disamakan dengan tidak tersedia.

Kedekatan hambatan dihitung melalui jarak titik ke ruas garis pada bidang lokal di sekitar lintang nol. Koordinat derajat dikalikan 111.195 m per derajat untuk memperoleh pendekatan meter. Hambatan dikaitkan dengan rute apabila jarak minimum tidak melebihi 15 m, kemudian dihitung

satu kali berdasarkan identitas fitur. Ambang 15 m merupakan parameter demonstrasi, bukan standar keselamatan atau ambang yang telah divalidasi. Analisis sensitivitas, misalnya dengan membandingkan tautan hambatan ke rute pada ambang 10, 15, dan 25 m, direncanakan pada pengembangan berikutnya. Pada penggunaan geografis nyata, proyeksi metrik setempat, toleransi posisi, arah perjalanan, dan asosiasi objek ke segmen perlu diperiksa kembali.

Prosedur pengujian dan keterulangan

Pengujian dilakukan melalui skrip otomatis pada Chromium dengan *viewport* 1440 × 1080 dan 390 × 844 piksel. Sebanyak 24 pemeriksaan fungsi inti dan empat pemeriksaan *dashboard* ditetapkan. Pemeriksaan *dashboard* menilai kecocokan indikator jaringan dengan data aktif, grafik dua rute, pembaruan setelah penambahan titik, dan pemulihan setelah reset. Pemeriksaan fungsi inti memeriksa pemuatan data, acuan numerik dua rute, relasi hambatan, kontrol *layer*, filter, atribut, panel rute, zoom, reset, formulir, batas radius, ekspor, impor ulang, penolakan enam jenis struktur salah, JSON rusak, label sintetis, tampilan seluler, dan galat JavaScript. Tujuh pemeriksaan di antaranya merupakan kasus negatif, yaitu enam struktur salah dan satu JSON rusak yang diharapkan ditolak tanpa mengubah dataset aktif. Acuan geometri dirancang sebelum pemeriksaan: sisi jaringan 180 m memberikan panjang rute A sekitar 360 m dan B sekitar 720 m, dengan toleransi absolut 0,1 m. Proporsi trotoar ditentukan dari status dua dari dua segmen pada A dan tiga dari empat segmen sama panjang pada B.

Keberhasilan dinyatakan per pemeriksaan apabila keluaran memenuhi kondisi yang diharapkan. Proporsi lulus merupakan deskripsi kecocokan terhadap skenario, bukan estimasi reliabilitas populasi penggunaan. Acuan dan skrip pemeriksaan disusun oleh pengembang yang sama, sehingga lulus seluruh pemeriksaan menunjukkan kesesuaian dengan spesifikasi, bukan evaluasi independen; evaluasi heuristik oleh penilai di luar pengembang menjadi bagian validasi berikutnya. Tidak dilakukan uji statistik inferensial. Skrip, hasil JSON, contoh ekspor, dan tangkapan layar disusun dalam paket pendukung agar langkah pemeriksaan dapat ditelusuri; paket tersebut diserahkan kepada editor dan reviewer sesuai kebijakan jurnal dan dijadwalkan disimpan pada repositori terbuka bernomor DOI sebelum penerbitan. Pembatasan satu peramban, skala data kecil, dan belum adanya pengujian lintas perangkat fisik membatasi interpretasi.

Rancangan validasi materi dan uji kelas

Validasi berikutnya direncanakan melibatkan tiga penilai yang dipilih secara purposif, mewakili materi geografi, media pembelajaran, dan GIS. Penilai memeriksa kesesuaian tujuan dan fitur, ketepatan konsep, keterbacaan simbol, kelengkapan atribut, serta kejelasan batas klaim. Indeks validitas isi per butir direncanakan dihitung sebagai jumlah penilai yang memberi kategori relevan dibagi jumlah penilai, disertai komentar kualitatif. Nilai tersebut belum dihitung karena belum ada penilaian. Butir yang dinilai tidak relevan ditinjau kembali sebelum uji siswa, tanpa mengganti pertimbangan ahli dengan ambang numerik semata.

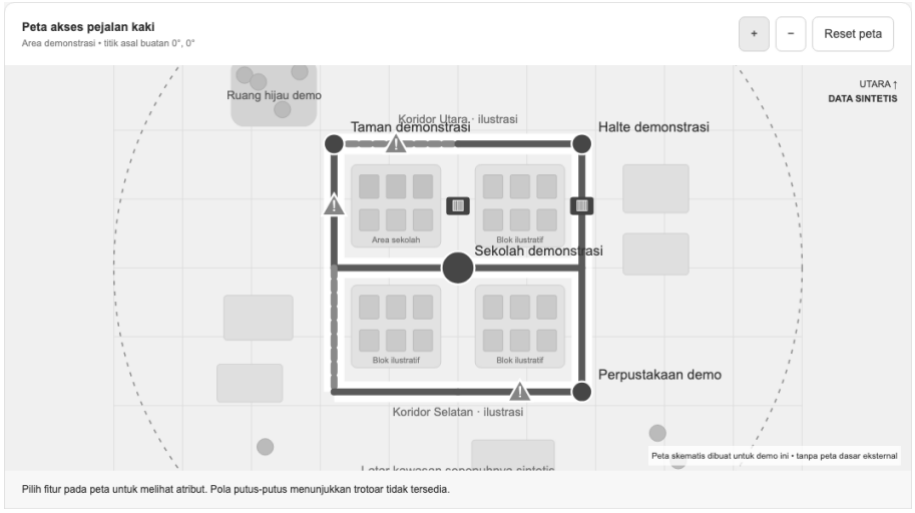
Uji terbatas yang direncanakan melibatkan satu kelas XI dengan jumlah peserta mengikuti izin sekolah, persetujuan wali, dan kesediaan siswa. Tugas meliputi mengaktifkan *layer*, membandingkan rute, memeriksa satu fitur, dan menyusun usulan perbaikan. Keberhasilan tugas, kesalahan operasi, waktu penyelesaian, dan kualitas argumen dicatat terpisah. Rubrik empat dimensi menilai pembacaan posisi, penggunaan bukti ID fitur, hubungan sebab-spasial, serta pengakuan keterbatasan, masing-masing pada skala 0 sampai 3. Skala 0 berarti dimensi tidak muncul, 1 muncul tetapi kurang tepat, 2 tepat tetapi belum lengkap, dan 3 tepat serta lengkap dengan rujukan pada identitas fitur. Instrumen ini belum tervalidasi. Kerangka argumentasi klaim, bukti, dan alasan serta keterkaitannya dengan capaian pembelajaran geografi SMA yang berlaku dipetakan pada tahap validasi ahli, dan deskriptor skor ditinjau pada tahap yang sama. Penggunaan Spatial Thinking Ability Test (STAT) pada studi lanjutan memerlukan pemeriksaan kesesuaian usia, konteks, bahasa,

dan izin. Thayaseelan et al. (2024) menunjukkan bahwa reliabilitas instrumen tersebut berada pada tingkat sedang dan paling sesuai untuk siswa berkemampuan rata-rata.

DISKUSI DAN PEMBAHASAN

Implementasi peta dan keterlacakan informasi

Artefak yang dihasilkan menyediakan empat kelompok *layer*, legenda simbol, atribut fitur, filter hambatan, dan kontrol pembesaran. Gambar 3 menunjukkan tampilan yang diambil langsung dari prototipe yang dijalankan. Garis penuh dan putus-putus membedakan status trotoar, sedangkan bentuk simbol membedakan hambatan dan fasilitas. Perbedaan bentuk penting agar interpretasi tidak bergantung sepenuhnya pada warna. Navigasi menggunakan kontrol berlabel, formulir berlabel, dan indikator fokus sebagai perhatian awal terhadap aksesibilitas web berdasarkan WCAG 2.2 (World Wide Web Consortium, 2023). Hal tersebut belum merupakan audit kepatuhan WCAG.



Gambar 3 Tangkapan layar prototipe peta dengan seluruh fitur berlabel sintetis

Pemisahan atribut dari tampilan memungkinkan satu objek diperiksa kembali melalui ID-nya. Siswa dapat menyebut s1, h1, atau f2 saat menjelaskan bukti pada peta. Mekanisme ini memberi struktur bagi argumentasi, tetapi tidak menjamin bahwa siswa memahami konsep keterhubungan. Menurut pertimbangan desain yang diturunkan dari Yamauchi et al. (2025), pembelajaran sebaiknya dimulai dari *layer* dan pertanyaan terbatas sebelum meminta penafsiran gabungan. Guru tetap diperlukan untuk menghubungkan temuan visual dengan konsep geografi.

Hasil evaluasi teknis

Seluruh 28 pemeriksaan otomatis memberikan keluaran sesuai harapan pada lingkungan yang digunakan. Pemuatan menghasilkan 19 fitur; penambahan satu titik valid menghasilkan 20 fitur, dan titik pada posisi relatif (500, 500) m ditolak karena berada di luar lingkaran radius 500 m. Ekspor dan impor ulang mempertahankan 19 fitur setelah reset. ID duplikat, rentang koordinat tidak valid, hilangnya label sintetis, ketidakcocokan geometri, jenis hambatan tidak valid, serta objek yang bukan *FeatureCollection* ditolak. Impor JSON rusak tidak mengganti dataset yang sudah ada.

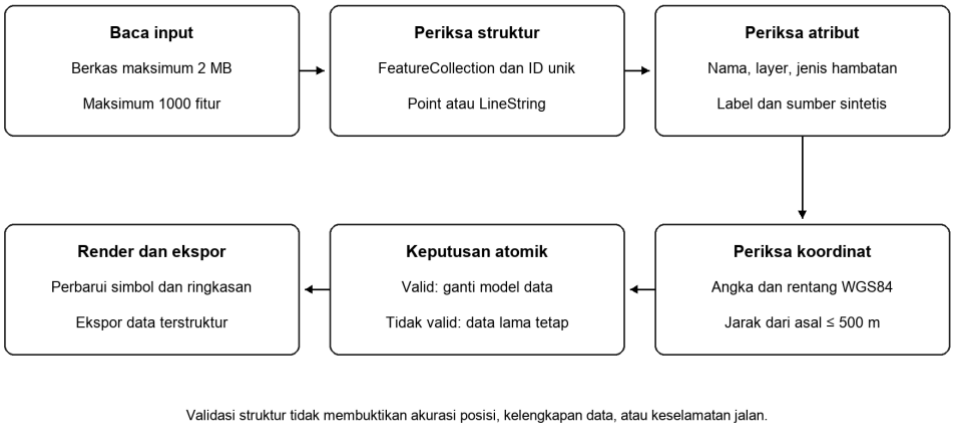
Tabel 1 merangkum kelompok pemeriksaan. Angka lulus menggambarkan hasil pelaksanaan skrip, bukan skor kelayakan pembelajaran. Pemeriksaan seluler hanya memastikan tidak adanya luapan horizontal pada lebar 390 piksel; kemudahan menjangkau kontrol, penggunaan pembaca layar, performa pada ponsel sekolah, dan kenyamanan siswa belum dievaluasi.

Tabel 1 Ringkasan pemeriksaan otomatis prototipe

Kelompok pemeriksaan	Jumlah	Lulus	Batas interpretasi
Pemuatan data dan acuan analisis	4	4	Dataset sintetis kecil
Layer, filter, atribut, dan panel	4	4	Tidak menilai pemahaman siswa
Zoom dan reset jangkauan	2	2	Tanpa gestur perangkat fisik
Formulir dan batas radius	2	2	Masukan titik sintetis
Ekspor dan impor ulang	2	2	Satu skema data khusus demo
Enam tipe data salah dan JSON rusak	7	7	Bukan pengujian keamanan lengkap
Label, seluler, dan galat JavaScript	3	3	Satu lingkungan Chromium
Indikator dan pembaruan dashboard	4	4	Konsistensi data sintetis

Sumber: hasil pengujian otomatis prototipe

Validasi data dilakukan sebelum model di memori diganti. Gambar 4 menjelaskan urutan pemeriksaan tersebut. Pemisahan ini menghindari hilangnya data aktif ketika berkas salah diimpor, namun belum menjamin ketepatan geometri secara topologis. Segmen yang berpotongan secara visual belum tentu merepresentasikan konektivitas nyata. Pemeriksaan posisi, kelengkapan, dan kesepakatan antarobserver tetap diperlukan sebelum data observasi sekolah digunakan.



Gambar 4 Alur validasi input dan pemeliharaan data aktif

Demonstrasi perbandingan rute

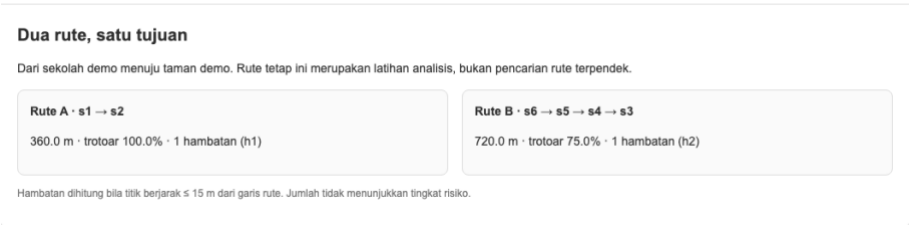
Pada *fixture* sintetis, panjang rute A adalah 360,0002 m dengan cakupan trotoar 100%, sedangkan rute B 720,0005 m dengan cakupan 75%. Tampilan membulatkan panjang menjadi satu angka desimal. Penyimpangan kurang dari 0,001 m dari acuan persegi berasal dari konversi koordinat dan perhitungan jarak, bukan pengukuran lapangan. Rute A terhubung dengan h1 dan rute B dengan h2 berdasarkan ambang demonstrasi. Keduanya memiliki satu hambatan terkait, tetapi jenis dan konteksnya berbeda sehingga jumlah saja tidak cukup untuk menetapkan pilihan rute (Tabel 2).

Tabel 2 Hasil perhitungan pada data sintetis

Indikator	Rute A	Rute B
Segmen	s1, s2	s6, s5, s4, s3
Panjang ditampilkan	360,0 m	720,0 m
Panjang bertrotoar	360,0 m	540,0 m
Cakupan trotoar	100,0%	75,0%
Hambatan dalam ambang 15 m	h1, satu titik	h2, satu titik
Jenis hambatan	Permukaan	Terhalang

Sumber: hasil perhitungan prototipe pada data sintetis

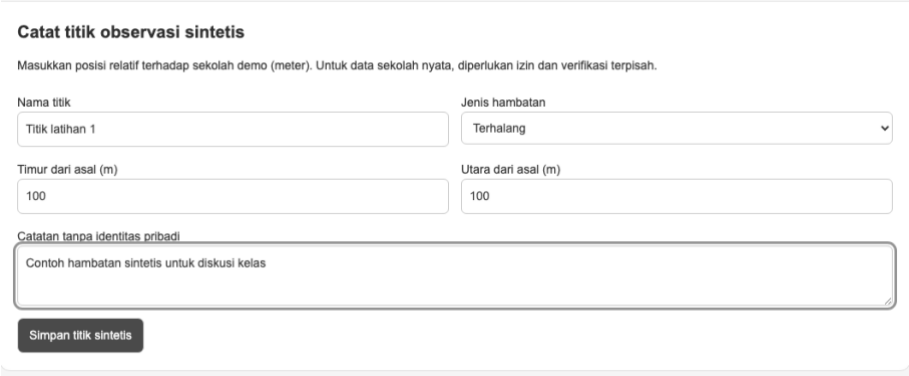
Gambar 5 menampilkan hasil perbandingan pada antarmuka. Rute A lebih pendek dalam demo, tetapi pernyataan bahwa rute A paling aman tidak dapat diturunkan dari tabel. Model belum memasukkan lebar trotoar, kondisi penyeberangan, kecepatan kendaraan, penerangan, kebutuhan pengguna disabilitas, atau paparan lalu lintas. Perbedaan lingkup ini sejalan dengan kompleksitas evaluasi koridor pada Swami et al. (2024) dan pemodelan jaringan perjalanan sekolah pada Salvo et al. (2024). Hasil penelitian tersebut dipakai untuk membatasi klaim prototipe, bukan untuk memvalidasi parameternya.



Gambar 5 Tangkapan layar perbandingan dua rute tetap pada data sintetis

Perangkat aktivitas dan argumentasi geografis

Formulir memungkinkan siswa berlatih mencatat hambatan beserta lokasi relatif dan catatan tanpa identitas pribadi. Gambar 6 menunjukkan formulir yang benar-benar diimplementasikan. Catatan baru tetap diberi label sintetis, sehingga tidak menjadi bukti survei hanya karena sudah muncul di peta. Prototipe belum menyediakan unggahan foto, moderasi guru, kolaborasi waktu nyata, atau pengelolaan izin data lapangan. Fitur-fitur tersebut merupakan kebutuhan pengembangan selanjutnya.



Gambar 6 Tangkapan layar formulir pencatatan titik sintetis

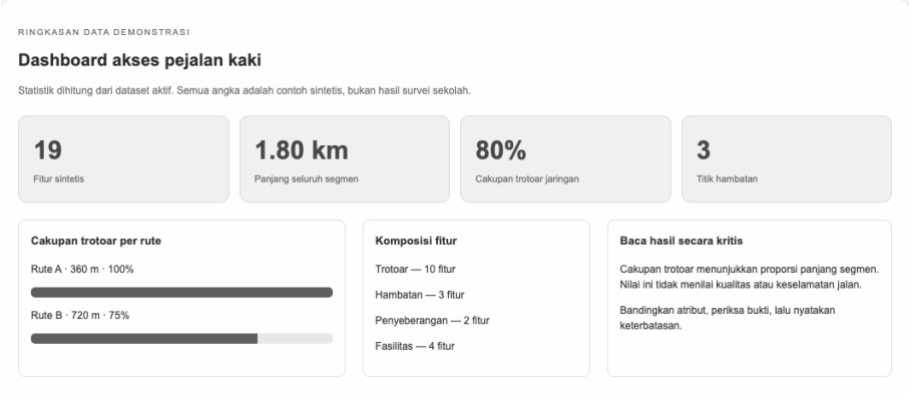
Aktivitas dirancang untuk dua jam pelajaran, masing-masing 45 menit. Pada 15 menit awal, guru memperkenalkan simbol, asal data, dan pertanyaan tentang perbedaan akses. Selama 20 menit berikutnya, kelompok mengaktifkan *layer* dan mengisi catatan dua fitur. Pada 25 menit berikutnya, kelompok membandingkan dua rute dengan memeriksa panjang, proporsi trotoar, serta jenis hambatan. Dua puluh menit digunakan untuk menyusun usulan menggunakan klaim, bukti, alasan,

dan keterbatasan. Sepuluh menit terakhir dipakai untuk saling menanggapi dan refleksi. Durasi tersebut adalah rancangan pembelajaran, belum merupakan rekaman pelaksanaan.

Contoh keluaran yang diharapkan adalah argumentasi bahwa perbaikan pada s3 perlu dipertimbangkan karena segmen tersebut tidak memiliki trotoar pada dataset demo dan memengaruhi rute B. Siswa harus menambahkan bahwa data belum menjelaskan volume kendaraan atau kondisi penyeberangan. Jawaban demikian dinilai melalui keterkaitan bukti dan alasan, bukan kesamaan pilihan rute dengan guru. Penekanan pada penjelasan dan justifikasi sesuai dengan pembelajaran inkuiri yang dibahas Kriewaldt et al. (2023) dan Lee (2023), sementara bentuk penilaiannya masih perlu divalidasi.

Dashboard ringkasan akses

Dashboard menampilkan jumlah fitur aktif, panjang seluruh segmen, cakupan trotoar jaringan, dan jumlah titik hambatan. Pada dataset awal terdapat 19 fitur, panjang jaringan sekitar 1,80 km, cakupan trotoar 80%, dan tiga titik hambatan. Cakupan jaringan dihitung dengan rumus proporsi panjang yang sama dengan analisis rute, diterapkan pada seluruh sepuluh segmen. Angka ini berbeda dari cakupan rute A sebesar 100% dan rute B sebesar 75% karena himpunan segmennya berbeda. Indikator diperbarui setelah perubahan data dan kembali ke nilai awal setelah reset (Gambar 7).



Gambar 7 Tangkapan layar *dashboard* ringkasan data sintetis

Peta ini menambahkan blok bangunan dan ruang hijau ilustratif untuk membantu pembacaan konteks. Latar tersebut sepenuhnya sintetis, tidak dihitung sebagai fitur analisis, dan tidak menunjukkan kondisi bangunan suatu sekolah. Dashboard membantu membandingkan himpunan data, tetapi bukan alat sertifikasi keselamatan atau bukti efektivitas pembelajaran.

Posisi terhadap penelitian terdahulu

Hasil teknis di atas perlu diposisikan secara hati-hati terhadap penelitian terdahulu. Karakter prototipe yang berjalan di peramban tanpa server dan tanpa layanan peta pihak ketiga sejalan dengan keunggulan implementasi WebGIS yang dibahas Santoso et al. (2021). Bukti efektivitas pada konteks Indonesia yang tersedia dalam penelusuran ini berasal dari pelatihan webGIS bagi guru geografi (Somantri dan Hamidah, 2023) dan dari kuasi-eksperimen pada kelas XI dengan Google Earth (Safira et al., 2024). Keduanya mengukur hasil yang berbeda dari penelitian ini dan tidak menguji akses pejalan kaki, sehingga tidak dapat dipakai untuk menyimpulkan efektivitas prototipe. Kajian akses sekolah yang bersifat teknis (Salvo et al., 2024; Swami et al., 2024) jauh lebih kompleks daripada indikator prototipe, yang memang sengaja dibatasi untuk keperluan argumentasi siswa. Tidak ditemukan kontradiksi langsung dengan literatur tersebut karena belum ada ukuran hasil yang sama untuk dibandingkan; kesenjangan itulah yang menentukan agenda evaluasi berikutnya. Prototipe ini juga tidak dimaksudkan menggantikan perangkat SIG dan peta daring yang sudah mapan; perbandingan fitur yang sistematis dengan perangkat tersebut belum dilakukan sehingga keunggulan fungsional prototipe tidak diklaim. Kontribusi yang dapat dipertahankan saat

ini terbatas pada konfigurasi khusus berupa data berlabel sintetis, indikator rute yang ditelusuri melalui identitas fitur, dan operasi lokal tanpa layanan pihak ketiga. Dukungan literatur pada jenjang SMA dan pada akses pejalan kaki secara khusus juga masih terbatas pada sedikit kajian yang ditemukan dalam penelusuran terarah.

Keterbatasan dan agenda evaluasi

Lingkup penelitian dibatasi oleh data sintetis, satu implementasi peramban, dua rute tetap, serta belum adanya penilai eksternal atau peserta didik. Pengujian belum mencakup ketahanan pada batas 1000 fitur dan 2 MB, kinerja pemuatan, kesalahan koordinat perangkat, pembaca layar, atau interoperabilitas lintas perangkat GIS. Parameter radius 500 m dan kedekatan 15 m merupakan keputusan rancangan, bukan hasil optimasi empiris. Dataset demo tidak menguji cakupan OpenStreetMap dan tidak memberikan informasi tentang suatu sekolah nyata.

Validasi berikutnya perlu memisahkan kualitas perangkat lunak, kualitas data spasial, kesesuaian materi, dan kemampuan argumentasi. Setelah izin diperoleh, guru dapat memilih sekolah dan rute observasi yang aman, menetapkan indikator, serta membandingkan hasil dua *observer* pada segmen yang sama. Jika data peta dasar terbuka digunakan, versi, tanggal, lisensi, dan ketidaklengkapannya harus dicatat. Pengujian dampak pembelajaran memerlukan instrumen yang sesuai dan rancangan pembanding; hasil uji teknis saat ini belum mendukung klaim peningkatan berpikir spasial, hasil belajar, atau perilaku perjalanan siswa.

KESIMPULAN

Penelitian menghasilkan prototipe WebGIS lokal yang mengintegrasikan tampilan akses pejalan kaki, pemeriksaan atribut, filter hambatan, formulir titik, pertukaran GeoJSON, dan perbandingan dua rute sintetis. Seluruh 28 pemeriksaan otomatis memenuhi kondisi yang ditetapkan pada satu lingkungan Chromium. Perhitungan rute sesuai acuan geometri demonstrasi, sehingga menyediakan dasar teknis yang dapat diperiksa ulang.

Kontribusi pembelajarannya berupa rancangan aktivitas yang menghubungkan identitas fitur dengan klaim, bukti, alasan, dan keterbatasan. Kelayakan materi, kemudahan penggunaan oleh siswa, akurasi data sekolah nyata, serta efektivitas pembelajaran belum dibuktikan. Penelitian lanjutan perlu melakukan validasi ahli dan uji kelas sebelum media digunakan sebagai produk pembelajaran yang telah tervalidasi. Indikator dalam prototipe tidak boleh diperlakukan sebagai audit keselamatan atau petunjuk navigasi.

KONTRIBUSI PENULIS

Risa Herdiyana Bastian: Conceptualization, Methodology, Software, Investigation, Data Curation, Formal Analysis, Visualization, dan Writing - Original Draft; Bahtiar: Validation, Resources, dan Writing - Review and Editing; serta Muhamad Sholeh: Supervision, Project Administration, dan Writing - Review and Editing. Semua penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir dari naskah ini.

PERNYATAAN KETERSEDIAAN DATA

Data yang mendukung temuan dalam penelitian ini tersedia dari para penulis atas permintaan yang wajar, dengan mempertimbangkan persetujuan etik dan peraturan institusi yang berlaku.

PERNYATAAN BEBAS KONFLIK KEPENTINGAN

Para penulis menyatakan bahwa tidak ada konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang dapat memengaruhi hasil yang dilaporkan dalam naskah ini.

PERNYATAAN ETIKA PENELITIAN DAN PUBLIKASI

Para penulis menyatakan bahwa penelitian dan penulisan naskah ini telah mematuhi standar etika penelitian dan publikasi, sesuai dengan prinsip ilmiah, serta bebas dari plagiasi.

PERNYATAAN PEMANFAATAN TEKNOLOGI ASISTIF

Para penulis menyatakan bahwa Kecerdasan Buatan Generatif (*Generative Artificial Intelligence*) dan teknologi asistif lainnya tidak digunakan secara berlebihan dalam proses penelitian dan penulisan naskah ini. Secara khusus, Codex digunakan untuk membantu penelusuran sumber, penyusunan draf awal, pengembangan prototipe, pembuatan diagram, dan pelaksanaan pemeriksaan teknis; sedangkan Claude (Anthropic) digunakan untuk menyusun ulang draf menjadi artikel sesuai templat jurnal, memeriksa konsistensi isi, angka, dan sitasi, serta menata format naskah. Gambar antarmuka berasal dari tangkapan layar prototipe lokal yang dijalankan dan bukan hasil pembangkitan AI. Para penulis telah meninjau dan menyunting semua konten yang dihasilkan AI guna memastikan ketepatan, kelengkapan, serta kepatuhan terhadap standar etika dan ilmiah. Tim penulis bertanggung jawab penuh atas naskah versi akhir.

REFERENSI

Bianchi, F., Riga, D., Moscarelli, R., & Pileri, P. (2023). Designing urban spaces to enhance active and sustainable mobility: An analysis of physical and symbolic affordances in school squares in the metropolitan area of Milan, Italy. *Sustainability, 15*(14), 11328. https://doi.org/10.3390/su151411328

Butler, H., Daly, M., Doyle, A., Gillies, S., Hagen, S., & Schaub, T. (2016). *The GeoJSON format* (RFC 7946). Internet Engineering Task Force. https://www.rfc-editor.org/rfc/rfc7946

Cao, K., Qi, Y., Neo, H. Y. R., & Guo, H. (2024). Web GIS as a pedagogical tool in tourist geography course: The effect on spatial thinking ability and self-efficacy. *Journal of Geography in Higher Education, 48*(2), 193-210. https://doi.org/10.1080/03098265.2023.2198200

Duarte, L., Teodoro, A. C., & Gonçalves, H. (2022). Evaluation of spatial thinking ability based on exposure to geographical information systems (GIS) concepts in the context of higher education. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 11*(8), 417. https://doi.org/10.3390/ijgi11080417

Hickman, J. (2023). Spatial thinking and GIS: Developing and assessing student competencies. *International Research in Geographical and Environmental Education, 32*(2), 140-158. https://doi.org/10.1080/10382046.2022.2138172

Huseynli, M., Bub, U., & Ogbuachi, M. C. (2022). Development of a method for the engineering of digital innovation using design science research. *Information, 13*(12), 573. https://doi.org/10.3390/info13120573

Kriewaldt, J., Robertson, L., & Ziebell, N. (2023). Creating the conditions for geographic conceptual development in post-primary students through collaborative guided inquiry. *Education Sciences, 13*(11), 1098. https://doi.org/10.3390/educsci13111098

Lee, J. (2023). Beyond geospatial inquiry - How can we integrate the latest technological advances into geography education? *Education Sciences, 13*(11), 1128. https://doi.org/10.3390/educsci13111128

Lee, S., & Lee, M. H. (2021). Impact of neighborhood environment on pedestrian route selection among elementary schoolchildren in Korea. *International Journal of Environmental Research and Public Health, 18*(13), 7049. https://doi.org/10.3390/ijerph18137049

Safira, I., Sahrina, A., Utomo, D. H., & Astina, I. K. (2024). The impact of Science, Environment, Technology, and Society (SETS) learning model integrated with Google Earth on spatial

thinking ability in senior high school. *Jambura Geo Education Journal, 5*(2), 149-159. https://doi.org/10.37905/jgej.v5i2.26052

Salvo, G., Sanfilippo, L., & Brignone, A. (2024). Investigating access to schools through walking: A study of built school road networks. *Sustainability, 16*(17), 7452. https://doi.org/10.3390/su16177452

Santoso, A. B., Juhadi, Wijayanto, P. A., Setiawan, S., Sa'adah, N., Masruroh, N., & Rahmah, N. A. (2021). The utilization of technology-based WebGIS as an effort to establish the spatial thinking ability of geographic students in high school. In *Proceedings of the 6th International Conference on Education and Social Sciences (ICESS 2021)* (pp. 21-25). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/assehr.k.210918.005

Somantri, L., & Hamidah, S. (2023). Effects of webGIS-based spatial intelligence training on geography teacher's spatial skills. *Jurnal Pendidikan Geografi: Kajian, Teori, dan Praktek dalam Bidang Pendidikan dan Ilmu Geografi, 28*(1), 75-83. https://doi.org/10.17977/um017v28i12023p75-83

Song, J., Yamauchi, H., Oguchi, T., Ogura, T., Nakamura, Y., & Wang, J. (2023). Effects of web geographic information system (GIS) technology and curriculum approaches on education for disaster risk reduction. *Natural Hazards and Earth System Sciences, 23*(11), 3617-3634. https://doi.org/10.5194/nhess-23-3617-2023

Swami, M., Pathak, C., Swami, S., & Jeihani, M. (2024). Promoting sustainable mobility: A walkability analysis for school zone safety. *Sustainability, 16*(20), 9118. https://doi.org/10.3390/su16209118

Thayaseelan, K., Zhai, Y., Li, S., & Liu, X. (2024). Revalidating a measurement instrument of spatial thinking ability for junior and high school students. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research, 6*(1), 3. https://doi.org/10.1186/s43031-024-00095-8

World Wide Web Consortium. (2023). *Web Content Accessibility Guidelines (WCAG) 2.2* (W3C Recommendation, 5 October 2023). https://www.w3.org/TR/2023/REC-WCAG22-20231005/

Yamauchi, H., Song, J., Oguchi, T., Ogura, T., & Iizuka, K. (2025). Evaluating digital map utilization and interpretation skills of students. *ISPRS International Journal of Geo-Information, 14*(2), 76. https://doi.org/10.3390/ijgi14020076

Yan, Y., Feng, C. C., & Leong, L. K. B. (2023). Complex adaptive blended learning for higher GIS education: A theory-driven pedagogy moving forward after the pandemic. *Transactions in GIS, 27*(5), 1479-1502. https://doi.org/10.1111/tgis.13084