

Navigasi Realtime Menggunakan *Incremental GPS Path Logging Algorithm* dan Visualisasi Interaktif Berbasis Web

¹Taufiqurrahman, ²Septian Simatupang, ³Rizki Ramadhansyah, ⁴Indah Clara Sari, ⁵Ihsan Rafli
^{1, 2, 3, 4, 5}Politeknik Wilmar Bisnis Indonesia

¹taufiq@wbi.ac.id, ²septian.simatupang@wbi.ac.id, ³rizki.ramadhansyah@wbi.ac.id,
⁴indah.clarasari@wbi.ac.id, ⁵2305010008@wbi.ac.id

Submit : 28 Feb 2025 | Diterima : 13 Mar 2025 | Terbit : 15 Mar 2025

ABSTRAK

Kemajuan teknologi *web* dan sensor perangkat *mobile* telah membuka peluang baru dalam pengembangan sistem navigasi *realtime* yang ringan dan fleksibel. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem navigasi berbasis web yang memanfaatkan *Incremental GPS Path Logging Algorithm* untuk pencatatan jalur secara bertahap, serta mengintegrasikan kompas digital guna menyesuaikan arah tampilan peta terhadap orientasi perangkat. Visualisasi peta menggunakan Mapbox GL JS, yang memungkinkan tampilan interaktif dengan sudut pandang *third-person* secara *realtime*. Sistem dibangun menggunakan *JavaScript* dan *React JS*, serta diujicobakan langsung di berbagai skenario mobilitas ringan seperti berjalan kaki dan bersepeda. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melacak posisi pengguna secara akurat, memperbarui jalur secara efisien tanpa perlu menggambar ulang keseluruhan rute, serta menampilkan kecepatan, jarak tempuh, dan durasi secara *realtime*. Penggunaan *DeviceOrientationEvent* terbukti efektif dalam menciptakan pengalaman navigasi yang lebih intuitif, meskipun pada beberapa perangkat ditemukan tantangan seperti *lag* sensor atau pembatasan izin akses. Sistem ini menunjukkan potensi besar untuk digunakan pada skenario pelacakan personal dan mobilitas ringan yang membutuhkan fleksibilitas lintas *platform* tanpa instalasi aplikasi. Penelitian selanjutnya dapat difokuskan pada optimalisasi visualisasi 3D, integrasi data historis, serta pengembangan fitur analisis rute yang lebih lanjut.

Kata Kunci: GPS Incremental Logging, Mapbox GL JS, Navigasi Realtime, Tracking Berbasis Web, WebGL

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi digital, khususnya pada bidang *geolocation*, *sensor orientation*, dan *web-based interactive mapping*, telah membuka peluang luas bagi pengembangan sistem navigasi yang lebih ringan, fleksibel, dan efisien (Isaia and Michaelides 2023; Lida Violeta Asencios-Trujillo 2024; Mogyorósi et al. 2022). Sistem navigasi tidak lagi hanya menjadi kebutuhan eksklusif untuk kendaraan bermotor besar seperti mobil dan truk (Pinandito et al. 2024), melainkan juga telah merambah ke berbagai perangkat ringan seperti sepeda, *personal mobility device*, serta proyek-proyek berbasis *Internet of Things (IoT)* (Herlambang et al. 2023; Karyadi, Rochadiani, and Sofian 2024). Perkembangan ini mendorong munculnya kebutuhan akan solusi navigasi yang dapat berjalan secara *real-time*, tidak bergantung pada aplikasi *native*, dan memiliki antarmuka visual yang responsif namun tetap ringan dijalankan pada perangkat dengan spesifikasi terbatas.

Namun demikian, sebagian besar sistem navigasi yang tersedia saat ini masih memiliki keterbatasan dalam hal kecepatan pembaruan data lokasi, integrasi dengan arah orientasi perangkat, serta kemampuan untuk menampilkan jalur perjalanan secara visual dan dinamis (Yang et al. 2024). Sebagian besar aplikasi navigasi *konvensional* bergantung pada model pemrosesan berbasis *refresh full route*, yang menyebabkan keterlambatan dalam pembaruan rute dan konsumsi sumber daya yang tinggi. Selain itu, sistem tersebut jarang mengadopsi fitur *third-person perspective* yang dapat memberikan pengalaman visual lebih intuitif bagi pengguna.

Dalam beberapa penelitian sebelumnya, sistem pelacakan posisi umumnya dibangun menggunakan pendekatan *static logging* atau *batch processing*, di mana data posisi dikumpulkan terlebih dahulu sebelum diproses dan divisualisasikan (Wang, Wang, and Chen 2021; Yang et al. 2024). Pendekatan ini kurang cocok untuk skenario pelacakan waktu nyata yang menuntut pembaruan posisi secara kontinu dan interaktif. Beberapa penelitian telah mencoba menggunakan *native mobile framework* seperti Android atau iOS untuk meningkatkan performa pelacakan, namun hal ini membatasi fleksibilitas penggunaan karena ketergantungan pada platform dan perangkat tertentu (González-Pérez et al. 2022; Jošt and Taneski 2025; Zou and Darus 2024). Di sisi lain, pemanfaatan *web technology* seperti JavaScript dan WebGL memberikan potensi besar untuk membangun aplikasi navigasi lintas platform yang ringan namun tetap interaktif (Liu et al. 2021; Xia et al. 2024).

Salah satu pendekatan yang mulai dikembangkan adalah penggunaan *Incremental GPS Path Logging Algorithm* (Luo et al. 2020), yaitu metode pencatatan posisi pengguna secara bertahap (*incremental*) dan berurutan setiap kali terjadi perubahan lokasi. Dengan pendekatan ini, sistem tidak perlu menggambar ulang seluruh jalur perjalanan setiap kali posisi berubah, melainkan cukup menambahkan titik baru ke jalur yang sudah ada. Hal ini meningkatkan efisiensi dalam hal pemrosesan dan pembaruan data. Untuk memperkuat aspek visualisasi, pendekatan ini dikombinasikan dengan *Mapbox GL JS*, sebuah pustaka visualisasi peta berbasis WebGL yang mendukung animasi kamera, rotasi peta, serta penggambaran *polyline* secara dinamis. Tidak hanya itu, integrasi dengan sensor orientasi perangkat melalui *DeviceOrientationEvent* memungkinkan sistem untuk menyesuaikan arah tampilan peta sesuai dengan arah pengguna secara langsung, menciptakan pengalaman navigasi *third-person* yang lebih mendekati kenyataan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem navigasi berbasis web yang mampu melakukan pelacakan posisi secara *real-time* menggunakan *Incremental GPS Path Logging Algorithm*, menyesuaikan arah peta menggunakan kompas digital, dan menyajikan visualisasi interaktif berbasis Mapbox GL JS. Sistem ini diharapkan dapat digunakan untuk mendukung berbagai skenario mobilitas ringan dan pelacakan personal, serta memberikan kontribusi pada pengembangan sistem navigasi modern yang ringan, fleksibel, dan mudah diakses oleh berbagai jenis perangkat.

Pertanyaan riset yang ingin dijawab dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana merancang sistem navigasi berbasis web yang mampu melakukan pelacakan posisi secara *real-time* dengan efisiensi tinggi pada perangkat spesifikasi terbatas?
2. Sejauh mana integrasi antara algoritma *Incremental GPS Path Logging*, sensor orientasi, dan visualisasi peta berbasis Mapbox GL JS dapat meningkatkan pengalaman pengguna dalam sistem navigasi *third-person* berbasis web?

TINJAUAN PUSTAKA

Incremental GPS Path Logging Algorithm

Sistem pelacakan posisi pengguna secara *realtime* memerlukan algoritma yang mampu menangani data lokasi secara efisien dan berkelanjutan. Salah satu pendekatan yang relevan adalah penggunaan *Incremental GPS Path Logging Algorithm*. Algoritma ini bekerja dengan mencatat posisi pengguna dari sensor GPS secara bertahap (*incrementally*), kemudian menyimpan setiap titik koordinat baru dalam urutan kronologis untuk membentuk jalur (*path*) atau lintasan perjalanan. Dengan pendekatan ini, sistem tidak perlu melakukan *refresh* total terhadap seluruh rute pada setiap perubahan posisi, melainkan hanya menambahkan titik terbaru ke dalam struktur data jalur (Luo et al. 2020).

Kelebihan dari metode ini terletak pada efisiensinya dalam penggunaan memori dan pemrosesan, terutama pada perangkat dengan spesifikasi terbatas seperti ponsel pintar atau sistem *embedded*. Selain itu, karena pembaruan dilakukan secara langsung, pengguna mendapatkan umpan balik visual secara *realtime*, yang penting untuk pengalaman navigasi yang responsif. Pendekatan ini banyak digunakan dalam pengembangan sistem pelacakan kendaraan ringan, logistik berbasis GPS, serta aplikasi *smart mobility*.

Misalkan:

- $P_t = (\text{lat}_t, \text{lon}_t)$ adalah posisi GPS pada waktu ke- t .
- \mathcal{P}_t adalah lintasan (path) yang berisi urutan posisi dari waktu awal hingga waktu ke- t .

Algoritma pencatatan lintasan dilakukan secara incremental sebagai berikut:

$$\mathcal{P}_t = \mathcal{P}_{t-1} \cup \{P_t\}$$

atau dalam bentuk eksplisit:

$$\mathcal{P}_t = [P_1, P_2, \dots, P_{t-1}, P_t]$$

Setiap kali sensor GPS memberikan titik baru P_t , sistem menambahkan titik tersebut ke dalam array lintasan \mathcal{P} .

Implementasi Algoritma

Implementasi algoritma dilakukan dalam tiga langkah utama sebagai berikut:

Langkah 1: Inisialisasi state path

```
const [path, setPath] = useState([]);
```

// Langkah 2: Fungsi untuk menambahkan posisi baru ke path

```
const handleTrack = (pos) => {  
  setPath((prev) => [...prev, pos]);  
};
```

// Langkah 3: Pantau posisi GPS dan perbarui path secara incremental

```
navigator.geolocation.watchPosition((pos) => {  
  const { latitude, longitude } = pos.coords;  
  handleTrack({ lat: latitude, lon: longitude });  
});
```

Posisi baru secara otomatis dimasukkan ke dalam variabel *path*, yang kemudian digunakan oleh komponen Map untuk menggambar rute menggunakan Mapbox GL JS.

Kompas Digital dan *DeviceOrientation API*

Selain pelacakan posisi, orientasi atau arah hadap pengguna menjadi komponen penting dalam sistem navigasi berbasis visual. Komponen ini biasanya diperoleh melalui sensor magnetometer yang tertanam pada perangkat mobile dan diakses melalui *DeviceOrientation API* (Kuhlmann, Garaizar, and Reips 2021). API ini menyediakan informasi tentang orientasi perangkat terhadap sumbu bumi, khususnya nilai *alpha* yang merepresentasikan arah rotasi terhadap sumbu z (yaw), atau secara sederhana dapat ditafsirkan sebagai arah utara perangkat.

Melalui pengolahan nilai *alpha*, sistem dapat menentukan *heading* atau arah hadap pengguna. Dalam konteks visualisasi peta, nilai ini digunakan untuk memutar peta atau mengatur sudut kamera sehingga tampilan peta seolah mengikuti arah pengguna secara langsung. Hal ini menghadirkan pengalaman navigasi seperti mode *third-person view* yang lazim digunakan dalam aplikasi *augmented reality* atau game navigasi.

Integrasi kompas digital dengan GPS menghasilkan sistem navigasi yang lebih imersif dan adaptif terhadap perubahan posisi dan arah pengguna. Namun, penggunaan *DeviceOrientationEvent* memerlukan izin khusus dari pengguna (terutama pada perangkat iOS), dan terkadang rentan terhadap gangguan medan magnetik di sekitar, sehingga validasi dan kalibrasi menjadi langkah penting dalam implementasinya.

Mapbox GL JS untuk Visualisasi Interaktif Berbasis Web

Mapbox GL JS merupakan pustaka *open-source* berbasis *WebGL* yang dirancang untuk membuat visualisasi peta yang dinamis dan interaktif pada aplikasi web. Keunggulan utama dari pustaka ini adalah kemampuannya dalam merender vektor peta secara langsung di sisi klien (client-side), memungkinkan perubahan visual seperti rotasi, zoom, dan pitch dilakukan secara mulus dan responsif (Guan 2023; Sehner 2024).

Dalam konteks sistem navigasi, Mapbox GL JS sangat relevan karena mendukung berbagai jenis *layer* seperti *line*, *symbol*, dan *fill-extrusion*, serta memiliki kontrol penuh terhadap kamera. Dengan fungsi `map.easeTo()`, pengembang dapat mengatur posisi, *bearing*, dan *pitch* dari tampilan peta untuk menciptakan efek navigasi *third-person camera* yang mengikuti pengguna. Pustaka ini juga mendukung integrasi data dalam format *GeoJSON*, yang kompatibel dengan struktur data dari algoritma *Incremental GPS Logging*.

Selain itu, Mapbox memungkinkan penyematan komponen 3D seperti bangunan (melalui *layer fill-extrusion*), serta mendukung *real-time source updates*, menjadikannya pilihan ideal untuk visualisasi jalur perjalanan secara dinamis. Kemudahan integrasi Mapbox dengan teknologi *frontend* modern seperti React, Vue, atau Vanilla JS juga menjadikannya populer di kalangan pengembang sistem pelacakan dan pemetaan berbasis web.

Studi Terdahulu tentang Sistem Navigasi Berbasis Web dan IoT

Berbagai studi sebelumnya telah mengeksplorasi pengembangan sistem navigasi berbasis GPS dan web, baik untuk aplikasi transportasi (Rathore et al. 2024; Tyagi and Sreenath 2023), pelacakan logistik (Louro, Vieira, and Vieira 2022), maupun proyek smart city (AlZubi et al. 2021). Sebagian besar menggunakan pendekatan *native app* dengan integrasi sensor perangkat untuk pelacakan posisi. Namun, pendekatan ini memiliki keterbatasan dalam hal skalabilitas, ketersediaan lintas platform, serta kompleksitas pengembangan.

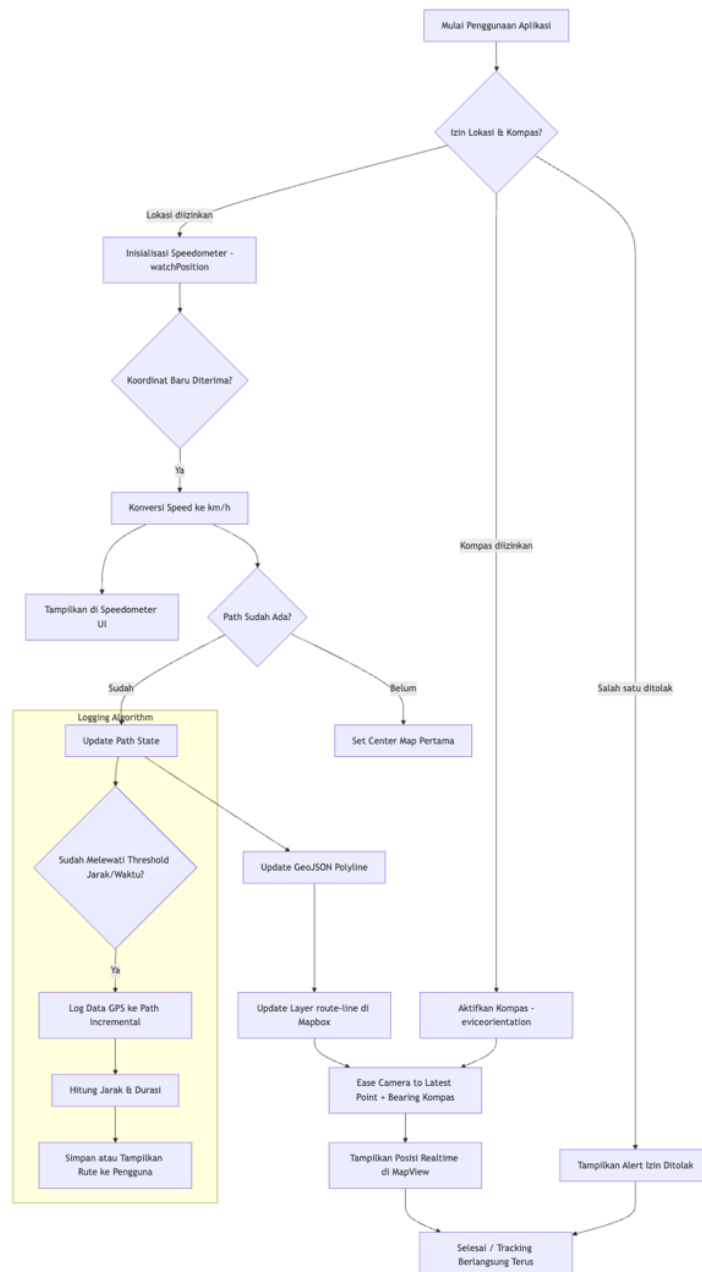
Studi tentang sistem pelacakan *web-based* mulai berkembang seiring dengan peningkatan kapabilitas browser modern yang mampu mengakses API sensor perangkat seperti GPS dan orientasi. Beberapa penelitian menunjukkan bahwa sistem berbasis web mampu memberikan performa yang cukup baik untuk pelacakan jalur sederhana, selama algoritma yang digunakan efisien dan visualisasi tidak terlalu membebani sumber daya perangkat (Park 2022; Shibghatullah et al. 2022).

Penelitian lain menyoroti pentingnya pengalaman pengguna (*user experience*) dalam sistem navigasi. Tampilan visual seperti peta interaktif, marker dinamis, dan tampilan sudut pandang pengguna sangat mempengaruhi kenyamanan dan efektivitas navigasi (Chaure et al. 2024). Oleh karena itu, integrasi antara algoritma pelacakan yang efisien dan visualisasi yang intuitif menjadi elemen kunci dalam sistem navigasi modern, termasuk untuk kendaraan ringan dan sistem pelacakan personal.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan untuk merancang dan menguji sebuah sistem navigasi berbasis web yang mampu menampilkan posisi dan arah pengguna secara *realtime*, dengan pendekatan visual interaktif menggunakan Mapbox. Proses pelacakan dilakukan melalui sensor GPS perangkat, sementara arah hadap diperoleh dari kompas digital (*DeviceOrientationEvent*). Sistem dikembangkan menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak eksperimental, dengan pengujian langsung dalam kondisi nyata.

Alur kerja sistem yang dikembangkan dijelaskan dalam *flowchart* berikut:



Gambar 1. Diagram alur kerja sistem

Flowchart yang disusun gambar 1 menggambarkan alur sistem navigasi *real-time* berbasis web yang memanfaatkan teknologi GPS, sensor orientasi perangkat, dan visualisasi interaktif menggunakan *Mapbox GL JS*. Alur dimulai dari tahap awal penggunaan aplikasi, di mana sistem akan meminta izin akses lokasi dan kompas digital sebagai syarat utama untuk menjalankan pelacakan posisi dan arah orientasi. Apabila salah satu izin tidak diberikan oleh pengguna, sistem akan menampilkan peringatan bahwa izin telah ditolak, dan proses pelacakan tidak dapat dilanjutkan.

Jika izin diberikan, sistem akan melanjutkan ke tahap inisialisasi sensor pelacakan posisi melalui fungsi *watchPosition*, yang memungkinkan sistem menerima pembaruan koordinat secara kontinu. Setiap koordinat baru yang diterima akan diolah untuk menghitung kecepatan gerak pengguna dan ditampilkan dalam antarmuka *speedometer* berbasis kilometer per jam. Selanjutnya, sistem akan memeriksa apakah *path* pengguna telah tersedia. Jika belum, sistem akan mengatur tampilan awal peta dan memusatkannya ke lokasi pengguna. Jika jalur sudah ada, maka sistem akan memulai proses pencatatan lintasan menggunakan pendekatan *incremental logging*.

Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk hanya menambahkan titik baru ke dalam jalur yang

sudah ada apabila perubahan posisi telah melewati ambang batas waktu atau jarak tertentu. Hal ini bertujuan untuk menghemat sumber daya komputasi dan meningkatkan efisiensi pembaruan jalur. Setiap pembaruan posisi akan memicu perubahan pada elemen visual *GeoJSON Polyline* yang ditampilkan di *Mapbox*, serta melakukan perhitungan jarak dan durasi tempuh pengguna secara akumulatif. Informasi tersebut kemudian dapat disimpan atau ditampilkan kepada pengguna dalam bentuk rute.

Di sisi lain, sistem juga mengaktifkan sensor orientasi perangkat menggunakan *DeviceOrientationEvent*, yang berfungsi untuk menyesuaikan arah tampilan kamera pada peta dengan arah kompas digital pengguna. Hal ini menghasilkan pengalaman navigasi *third-person* yang lebih intuitif dan mendekati kenyataan. Proses pelacakan posisi dan orientasi berjalan secara paralel dan terus berlangsung selama aplikasi aktif dan mendapatkan izin sensor. Dengan alur ini, sistem berhasil mengintegrasikan berbagai komponen penting untuk menciptakan pengalaman navigasi *real-time* yang ringan, fleksibel, dan dapat diakses lintas perangkat.

Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian rekayasa perangkat lunak (*software engineering research*) dengan pendekatan eksperimen. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem navigasi *realtime* berbasis *Incremental GPS Path Logging Algorithm* yang diintegrasikan dengan kompas digital dan visualisasi interaktif.

Pendekatan ini menekankan pada pengembangan fungsional sistem yang berjalan langsung di browser dan melakukan evaluasi secara langsung melalui pengujian lapangan. Fokus utama penelitian ini bukan pada analisis statistik, tetapi pada efisiensi algoritma, akurasi visualisasi, dan pengalaman pengguna selama navigasi.

Perangkat dan Alat

Penelitian ini menggunakan kombinasi perangkat keras dan perangkat lunak sebagai berikut:

A. Perangkat Keras

1. **Smartphone** dengan dukungan sensor GPS dan kompas (baik Android maupun iOS).
2. **Koneksi internet** aktif untuk memuat peta dari server Mapbox.

B. Perangkat Lunak

1. **Bahasa Pemrograman:** JavaScript, React JS
2. **API Sensor:**
 - a) `navigator.geolocation.watchPosition()` untuk pelacakan lokasi.
 - b) `window.DeviceOrientationEvent` untuk orientasi arah kompas.
3. **Pustaka Peta:** *Mapbox GL JS* untuk render peta interaktif berbasis WebGL.
4. **Struktur Data:** Format *GeoJSON* untuk menyimpan dan memperbarui jalur rute.
5. **Lingkungan Pengujian:** Browser modern (Chrome, Safari) dengan dukungan WebGL dan izin akses sensor aktif.

Lingkungan pengujian dilakukan di area terbuka untuk memastikan sinyal GPS stabil dan akurat, serta meminimalkan interferensi terhadap kompas digital.

Desain Sistem

Sistem navigasi yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari tiga komponen utama: pelacakan lokasi, orientasi arah, dan visualisasi peta interaktif. Ketiga komponen tersebut saling terintegrasi dan berjalan secara *realtime* untuk memberikan pengalaman navigasi yang responsif dan adaptif terhadap pergerakan pengguna.

1. Modul Pelacakan Lokasi

Sistem menggunakan `navigator.geolocation.watchPosition()` untuk melacak posisi pengguna secara terus-menerus. Setiap titik lokasi baru akan dikonversi menjadi format *latitude* dan *longitude*, kemudian disimpan secara *incremental* ke dalam struktur data path untuk membentuk jalur perjalanan pengguna.

2. Modul Kompas Digital

Kompas digital diaktifkan melalui event `window.DeviceOrientationEvent`, yang memberikan nilai *alpha* (arah rotasi terhadap sumbu vertikal). Nilai ini diolah untuk

menentukan *bearing* atau arah hadap pengguna, kemudian digunakan untuk memutar kamera peta agar selalu menyesuaikan dengan arah pengguna.

3. Modul Visualisasi Peta

Peta divisualisasikan menggunakan *Mapbox GL JS* dengan struktur data jalur yang dibentuk dalam format *GeoJSON LineString*. Sistem memperbarui *layer* peta setiap kali titik baru ditambahkan, dengan efek *easeTo* untuk menggerakkan kamera ke titik terbaru dan menyesuaikan sudut pandang sesuai arah pengguna. Visualisasi dibuat dalam mode *third-person*, yaitu marker tetap berada di tengah layar, sementara peta bergerak mengikuti posisi dan arah pengguna.

Prosedur Kerja Sistem

Proses kerja sistem navigasi ini dapat dirinci menjadi langkah-langkah berikut:

1. Permintaan Izin Akses Sensor

Saat aplikasi pertama kali dijalankan, sistem meminta izin pengguna untuk mengakses lokasi (GPS) dan sensor orientasi (kompas). Jika salah satu izin ditolak, sistem akan menampilkan peringatan (*alert*) dan tidak dapat melanjutkan proses pelacakan.

2. Inisialisasi Pelacakan

Setelah izin diberikan, sistem langsung mengaktifkan pelacakan lokasi menggunakan *watchPosition*. Pada saat yang sama, sistem juga mengaktifkan sensor kompas dengan event *deviceorientation*.

3. Pemrosesan Titik Lokasi

Setiap koordinat baru yang diterima dikonversi untuk menghitung kecepatan dalam satuan km/h dan ditampilkan dalam antarmuka speedometer. Koordinat juga disimpan dalam array path yang membentuk jalur pengguna.

4. Pengaturan Pusat Peta

Jika ini adalah titik pertama, sistem akan mengatur pusat peta ke koordinat tersebut. Untuk titik berikutnya, sistem akan memperbarui *path* dan mengubah *GeoJSON* secara langsung untuk menggambar ulang jalur.

5. Rotasi dan Pergerakan Kamera

Sistem menggunakan nilai arah dari kompas untuk menyesuaikan *bearing* kamera. Fungsi *easeTo* digunakan agar kamera berpindah ke titik terbaru dengan animasi halus.

6. Pencatatan Jalur Secara Incremental

Sistem hanya mencatat posisi ke jalur jika sudah terjadi perubahan signifikan (jarak minimal tertentu atau selang waktu tertentu). Hal ini bertujuan untuk menghindari pemborosan sumber daya dan mengurangi beban visualisasi.

7. Menampilkan Jalur dan Informasi Tambahan

Jalur pergerakan pengguna digambar secara dinamis pada peta. Selain itu, sistem juga menghitung total jarak yang telah ditempuh serta estimasi durasi, lalu menampilkannya sebagai umpan balik kepada pengguna.

Logging Jalur

Pencatatan jalur dilakukan menggunakan pendekatan *Incremental GPS Path Logging Algorithm*, yaitu metode penyimpanan titik-titik lokasi pengguna berdasarkan urutan waktu secara bertahap. Sistem tidak merekam seluruh rute secara sekaligus, melainkan hanya menambahkan titik-titik baru ke dalam struktur data path apabila memenuhi kriteria tertentu.

Agar proses pencatatan jalur tetap efisien, sistem menetapkan ambang batas perubahan posisi. Titik baru hanya ditambahkan ke jalur jika memenuhi salah satu dari kondisi berikut:

1. Pengguna telah berpindah sejauh lebih dari X meter dari titik sebelumnya (dihitung berdasarkan koordinat GPS).
2. Telah berlalu waktu tertentu sejak titik terakhir tercatat (misalnya lebih dari 3 detik).

Dengan pendekatan ini, sistem menghindari pencatatan berlebihan yang dapat menyebabkan beban visualisasi pada peta dan konsumsi memori berlebih. Selain itu, pendekatan incremental ini memudahkan sistem untuk memperbarui *GeoJSON LineString* secara efisien, karena hanya perlu menambahkan satu koordinat baru ke array sebelumnya, tanpa harus mengganti keseluruhan data.

Data jalur ini digunakan untuk memperbarui layer garis rute pada Mapbox secara langsung, sehingga pengguna dapat melihat jejak pergerakan mereka secara *realtime* dan akurat di layar peta. Di akhir perjalanan, data jalur juga dapat dikalkulasi untuk mengetahui total jarak tempuh dan estimasi durasi perjalanan.

Pengujian dan Evaluasi

Pengujian sistem dilakukan dengan metode observasi langsung selama penggunaan aplikasi dalam kondisi nyata. Beberapa skenario uji dijalankan di area terbuka seperti lingkungan kampus, jalan pemukiman, dan taman kota. Tujuannya adalah untuk memastikan kestabilan sinyal GPS, keakuratan orientasi kompas, dan kelancaran visualisasi jalur.

Aspek-aspek yang diuji dalam penelitian ini mencakup:

1. **Pelacakan Posisi Realtime**

Sistem mampu melacak posisi pengguna secara *realtime*, dengan respons cepat terhadap perubahan lokasi. Koordinat pengguna diperbarui secara kontinu tanpa jeda signifikan.

2. **Visualisasi Jalur Pergerakan (Path)**

Jalur yang terbentuk di peta mencerminkan arah dan bentuk pergerakan pengguna dengan benar. Polyline diperbarui setiap kali titik baru ditambahkan, membentuk lintasan yang sesuai dengan kenyataan.

3. **Penyesuaian Arah Kompas**

Ketika pengguna memutar perangkat, sistem menyesuaikan arah tampilan peta (*bearing*) berdasarkan data dari sensor orientasi. Pengujian menunjukkan bahwa arah peta menyesuaikan dengan gerakan perangkat, meskipun kadang terjadi delay kecil pada beberapa perangkat.

4. **Kecepatan Pengguna**

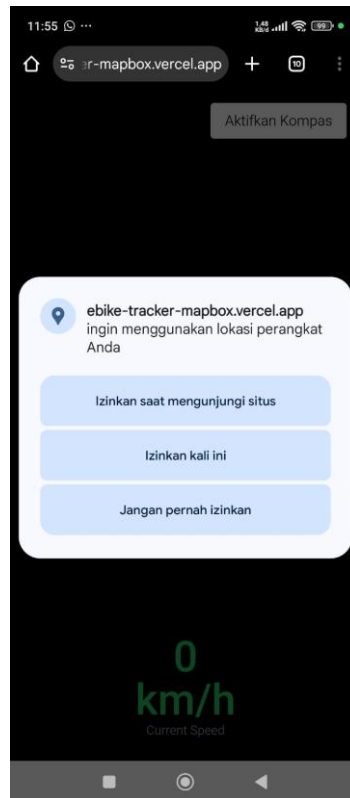
Nilai kecepatan ditampilkan dalam satuan kilometer per jam (km/h), dihitung dari data GPS. Selama pengujian, perubahan kecepatan ditampilkan dengan baik dan cukup akurat mengikuti intensitas gerak pengguna.

Evaluasi menunjukkan bahwa sistem bekerja secara stabil pada perangkat dengan dukungan sensor lengkap, dengan performa visualisasi yang halus dan responsif. Tantangan utama terdapat pada kondisi sinyal GPS yang lemah atau perangkat dengan sensor magnetometer yang tidak stabil, yang dapat mempengaruhi akurasi arah kompas.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan Antarmuka dan Inisialisasi Sistem

Ketika aplikasi navigasi pertama kali dijalankan melalui browser di perangkat mobile, sistem secara otomatis menampilkan permintaan izin kepada pengguna untuk mengakses **lokasi perangkat secara real-time**. Hal ini dilakukan menggunakan API `navigator.geolocation.watchPosition()` yang membutuhkan persetujuan eksplisit dari pengguna agar sistem dapat melakukan pelacakan secara kontinu.

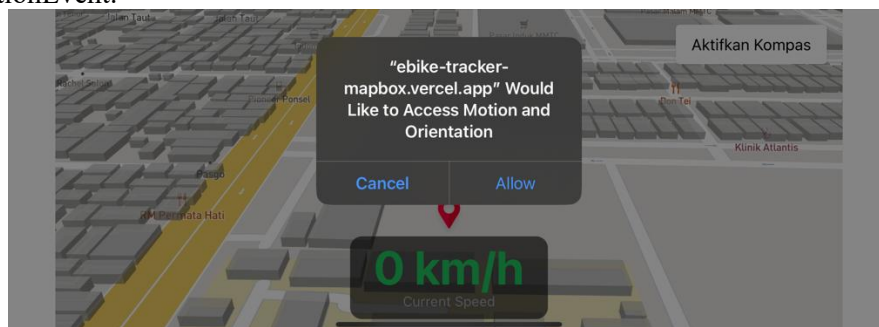


Gambar 2. Tampilan awal sistem saat meminta izin akses lokasi perangkat. Antarmuka *speedometer* sudah aktif dan menunjukkan kecepatan awal 0 km/jam, menandakan belum ada pergerakan. Tombol "Aktifkan Kompas" juga ditampilkan untuk mengakses orientasi perangkat.

Pada tampilan awal, pengguna dihadapkan pada tiga pilihan izin:

1. **Izinkan saat mengunjungi situs**
2. **Izinkan kali ini**
3. **Jangan pernah izinkan**

Sistem tidak dapat berjalan tanpa izin ini, karena seluruh modul pelacakan bergantung pada data lokasi GPS. Selain itu, antarmuka awal juga menampilkan tombol "**Aktifkan Kompas**" yang merupakan pemicu untuk mengaktifkan sensor orientasi perangkat melalui DeviceOrientationEvent.



Gambar 3. Tampilan awal sistem pada perangkat iOS saat meminta izin untuk mengakses *motion* dan *orientation*. Izin ini diperlukan agar fitur pelacakan arah dan pergerakan berjalan optimal.

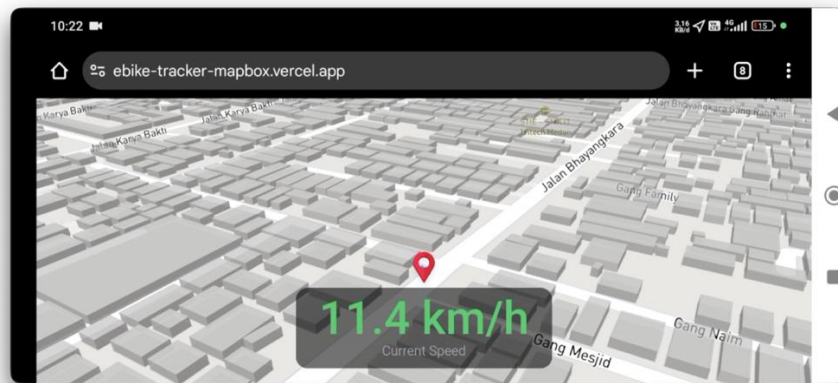
Di bagian bawah antarmuka, sistem juga menampilkan nilai **kecepatan saat ini (0 km/h)** yang menandakan bahwa pelacakan sudah siap tetapi pengguna belum mulai bergerak.

Tampilan ini menunjukkan bahwa sistem telah dirancang dengan antarmuka yang **minimalis, langsung ke fungsi utama, dan fokus pada interaksi sensorik**, sesuai dengan tujuan pengembangan sistem navigasi ringan berbasis web. Inisialisasi sensor secara eksplisit juga

memastikan bahwa pengguna memahami kontrol dan keamanan terhadap data lokasi mereka.

Hasil Pelacakan Posisi Pengguna Secara Realtime

Setelah pengguna memberikan izin akses lokasi, sistem langsung mengaktifkan pelacakan posisi menggunakan `navigator.geolocation.watchPosition()`. Setiap perubahan posisi direkam dan divisualisasikan pada peta dalam bentuk marker dengan tampilan real-time.



Gambar 4. Tampilan sistem saat melacak pergerakan pengguna secara realtime, menampilkan kecepatan terkini (11,4 km/h) di atas peta 3D interaktif berbasis Mapbox.

Gambar menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi kecepatan pengguna sebesar **11,4 km/h** dan menampilkan posisi terkini pada peta 3D interaktif yang di-render menggunakan Mapbox GL JS. Marker posisi pengguna diperbarui secara terus-menerus mengikuti gerakan aktual pengguna di lapangan.

Penggunaan teknologi web memungkinkan pelacakan dilakukan langsung dari browser tanpa instalasi aplikasi tambahan. Respons sistem terhadap perubahan posisi cukup cepat dan akurat, menyesuaikan dengan dinamika pergerakan pengguna di lingkungan nyata seperti jalan raya dan permukiman.

Hasil Pelacakan Posisi Pengguna Secara Realtime

Sistem navigasi yang dikembangkan menggunakan pendekatan *Incremental GPS Path Logging Algorithm* untuk mencatat dan menggambar lintasan (path) pergerakan pengguna secara bertahap. Setiap kali pengguna berpindah lokasi secara signifikan (berdasarkan ambang jarak atau waktu tertentu), sistem menambahkan titik koordinat baru ke struktur data GeoJSON LineString yang merepresentasikan jalur perjalanan.



Gambar 5. Visualisasi jalur pergerakan pengguna ditampilkan secara *incremental* dalam bentuk garis rute yang mengikuti arah dan kecepatan gerak. Garis tersebut diperbarui secara *realtime* pada peta 3D berbasis Mapbox, sehingga memungkinkan pemantauan posisi dan lintasan pengguna secara dinamis dan akurat selama perjalanan berlangsung.

Keunggulan dari pendekatan ini adalah efisiensi visualisasi. Sistem tidak menggambar

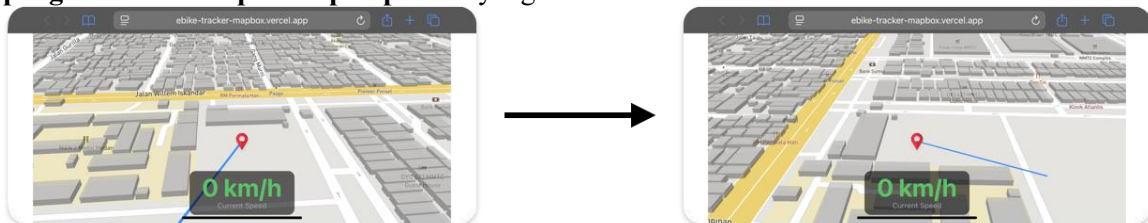
ulang seluruh jalur dari awal, melainkan hanya menyisipkan titik baru ke dalam array yang sudah ada. Jalur pergerakan pengguna divisualisasikan langsung di peta Mapbox dalam bentuk garis berwarna (polyline), dan diperbarui secara dinamis setiap kali lokasi berubah.

Visualisasi ini memungkinkan pengguna melihat secara langsung jejak pergerakan mereka, termasuk perubahan arah, kecepatan, dan bentuk lintasan, dengan tampilan 3D yang mendekati representasi lingkungan nyata.

Hasil Pelacakan Posisi Pengguna Secara Realtime

Selain pelacakan posisi, sistem juga mampu menyesuaikan arah tampilan peta berdasarkan **orientasi perangkat pengguna secara real-time**. Fungsi ini diaktifkan melalui **sensor magnetometer** yang diakses menggunakan `window.DeviceOrientationEvent`, yang memberikan nilai *alpha* untuk menentukan arah hadap (heading) perangkat terhadap utara magnetik.

Setelah tombol “**Aktifkan Kompas**” ditekan, sistem mulai memantau rotasi perangkat dan menerjemahkannya ke dalam **bearing kamera pada Mapbox GL JS**. Dengan cara ini, arah pandang pengguna dalam dunia nyata diikuti secara visual oleh rotasi peta, menciptakan **pengalaman third-person perspective** yang intuitif dan interaktif.



Gambar 6. Ilustrasi penyesuaian orientasi tampilan peta secara *real-time* berdasarkan arah hadap perangkat menggunakan sensor kompas digital. Saat perangkat diputar sejauh 90°, sistem merespons melalui *DeviceOrientationEvent* untuk menyelaraskan arah peta dengan orientasi aktual pengguna.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa:

1. Arah tampilan peta akan berubah secara halus mengikuti perubahan arah perangkat.
2. Terdapat sedikit *lag* atau deviasi kecil pada beberapa perangkat, terutama jika sensor magnetiknya kurang stabil.
3. Pada perangkat yang tidak mendukung kompas digital, orientasi arah tidak dapat diputar secara otomatis, sehingga peta tetap diam meskipun perangkat diputar oleh pengguna. Sistem tetap berjalan, tetapi tanpa penyesuaian arah hadap.
4. Untuk perangkat iOS, akses ke sensor orientasi membutuhkan izin eksplisit tambahan, dan kadang harus diaktifkan secara manual oleh pengguna melalui pengaturan browser.
5. Fungsi ini menambah kedalaman pengalaman pengguna karena peta terasa “hidup” dan adaptif terhadap gerakan.

Fitur ini sangat bermanfaat terutama saat digunakan dalam mobilitas ringan seperti berjalan kaki, bersepeda, atau penggunaan e-bike, karena pengguna tidak perlu terus-menerus memutar perangkat untuk melihat arah jalur.

Tampilan Kecepatan dan Informasi Pendukung Navigasi

Untuk meningkatkan kegunaan sistem navigasi berbasis web ini, ditambahkan fitur **informasi pendukung** yang menampilkan data real-time terkait pergerakan pengguna. Salah satu fitur utama yang diimplementasikan adalah **speedometer digital**, yang menampilkan kecepatan saat ini dalam satuan **kilometer per jam (km/h)** berdasarkan data GPS.

a) Speedometer Realtime

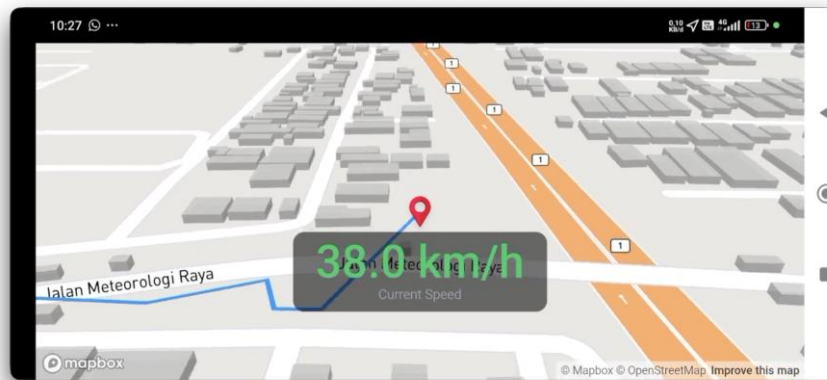
Kecepatan dihitung secara dinamis dari perbedaan waktu dan jarak antar koordinat GPS yang diterima melalui `watchPosition()`. Nilai ini diperbarui setiap kali terjadi perubahan posisi yang signifikan. Speedometer ini ditampilkan secara visual di bagian bawah layar dengan ukuran font besar dan warna kontras, sehingga mudah dibaca oleh pengguna saat bergerak.

b) Estimasi Jarak Tempuh

Sistem juga mencatat semua titik jalur (path) dalam struktur GeoJSON, yang memungkinkan dilakukan penghitungan total jarak yang telah ditempuh selama sesi navigasi. Estimasi jarak dihitung dengan menjumlahkan selisih antar titik-titik GPS yang valid dan ditambahkan ke dalam *array path*.

c) Estimasi Durasi Perjalanan

Selain jarak, sistem juga mencatat **waktu mulai** saat pelacakan dimulai, dan menghitung durasi hingga waktu saat ini untuk memberi estimasi waktu tempuh. Informasi ini dapat disimpan atau ditampilkan di antarmuka sebagai umpan balik perjalanan.



Gambar 7. Tampilan fitur *speedometer* yang memperlihatkan kecepatan pengguna secara *real-time* dalam satuan km/h. Nilai kecepatan ini dihitung berdasarkan perubahan posisi pengguna dari data GPS yang diterima secara berkala.

Seluruh informasi ini tidak hanya memberikan gambaran *real-time* kepada pengguna, tetapi juga dapat digunakan sebagai dasar analisis perjalanan — misalnya, untuk kebutuhan pelacakan aktivitas olahraga, penggunaan kendaraan ringan, atau pengukuran efisiensi jalur.

Keterbatasan Sistem dan Tantangan Teknis

Selama pengembangan dan pengujian sistem navigasi berbasis web ini, ditemukan sejumlah **keterbatasan teknis** yang perlu diperhatikan baik dalam penggunaan maupun pengembangan lanjutan. Keterbatasan tersebut meliputi aspek perangkat keras, perangkat lunak, hingga lingkungan penggunaan sistem.

a) Ketergantungan pada Stabilitas Sensor

Salah satu tantangan utama terletak pada **sensor GPS dan kompas digital (magnetometer)**. Akurasi pelacakan posisi sangat tergantung pada kualitas sinyal GPS dan kestabilan sensor perangkat. Dalam beberapa kasus:

1. Perangkat dengan sensor magnetometer yang lemah atau tidak dikalibrasi menunjukkan arah yang tidak konsisten.
2. Gangguan medan magnet (seperti dekat tiang listrik atau logam besar) dapat menyebabkan **deviasi signifikan** dalam orientasi kompas.

b) Izin Akses Sensor yang Dibatasi

Akses ke sensor lokasi dan orientasi memerlukan izin eksplisit dari pengguna, terutama di perangkat modern yang memprioritaskan **privasi dan keamanan**. Beberapa tantangan terkait:

1. Di perangkat iOS, **DeviceOrientationEvent** tidak aktif secara default dan harus diaktifkan secara manual oleh pengguna melalui pengaturan browser.
2. Jika pengguna menolak izin, maka **fitur navigasi tidak dapat dijalankan**, dan sistem menampilkan peringatan atau fallback mode.

c) Kompatibilitas Perangkat dan Browser

Tidak semua perangkat mendukung fitur WebGL atau sensor yang dibutuhkan. Beberapa keterbatasan ditemukan pada:

1. Perangkat lama dengan performa rendah (RAM kecil atau CPU lambat) mengalami **lag visual** saat menampilkan peta 3D.
2. Browser tertentu (versi lama atau non-kompatibel) tidak dapat merender peta Mapbox dengan sempurna, menyebabkan **layer tidak muncul atau interaksi tidak responsif**.

d) Ketergantungan pada Koneksi Internet

Karena sistem memuat peta dari server Mapbox secara online, koneksi internet yang lambat atau tidak stabil dapat menyebabkan:

1. Peta tidak termuat seluruhnya.
2. Animasi kamera atau jalur pengguna tampak tersendat.

Secara umum, meskipun sistem berjalan dengan baik pada perangkat modern dengan dukungan sensor lengkap, tetap dibutuhkan pendekatan adaptif dan fallback (cadangan) untuk menghadapi variasi perangkat dan lingkungan penggunaan yang berbeda. Keterbatasan ini menjadi **ruang perbaikan** dalam pengembangan sistem navigasi berbasis web yang lebih tahan terhadap kondisi ekstrem dan lebih inklusif terhadap semua jenis perangkat.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sebuah sistem navigasi berbasis web yang mampu melakukan pelacakan posisi secara real-time menggunakan *Incremental GPS Path Logging Algorithm*, menyesuaikan arah tampilan peta berdasarkan orientasi perangkat melalui kompas digital, serta menyajikan visualisasi interaktif menggunakan Mapbox GL JS. Sistem ini terbukti mampu menampilkan posisi dan arah pengguna secara kontinu dan responsif, menggambar jalur pergerakan secara efisien tanpa refresh penuh, menyediakan informasi kecepatan, jarak tempuh, dan estimasi waktu secara real-time, menyesuaikan arah tampilan peta dengan rotasi perangkat, menciptakan pengalaman navigasi third-person yang intuitif. Meskipun sistem bekerja optimal pada perangkat dengan sensor dan koneksi yang baik, masih terdapat beberapa kendala seperti ketergantungan pada izin akses sensor, variasi kualitas kompas antar perangkat, serta ketergantungan pada koneksi internet untuk pemuatan peta. Secara keseluruhan, sistem ini menunjukkan potensi besar untuk digunakan dalam berbagai skenario mobilitas ringan dan pelacakan personal berbasis browser, dengan fleksibilitas lintas platform dan performa yang efisien.

REFERENSI

- AlZubi, Ahmad Ali, Abdulaziz Alarifi, Mohammed Al-Maitah, and Omar Alheyasat. 2021. "Multi-Sensor Information Fusion for Internet of Things Assisted Automated Guided Vehicles in Smart City." *Sustainable Cities and Society* 64:102539. doi:<https://doi.org/10.1016/j.scs.2020.102539>.
- Chahre, Ashwini Sunil, Rutu Santosh Malloli, Mrunal Shrikant Malave, Shreya Basagonda Vhananavar, and Shital Borse. 2024. "Enhancing Navigation Systems: A Comprehensive Survey with Proposed Innovations for Improved User Experience." Pp. 1–4 in *2024 8th International Conference on Computing, Communication, Control and Automation (ICCUBEA)*.
- González-Pérez, Alberto, Miguel Matey-Sanz, Carlos Granell, and Sven Casteleyn. 2022. "Using Mobile Devices as Scientific Measurement Instruments: Reliable Android Task Scheduling." *Pervasive and Mobile Computing* 81:101550. doi:<https://doi.org/10.1016/j.pmcj.2022.101550>.
- Guan, Mingjie. 2023. "Design and Implementation of an Airport Bird Strike Management System Based on Mapbox GL." Pp. 442–47 in *2023 IEEE 5th International Conference on Civil Aviation Safety and Information Technology (ICCASIT)*.
- Herlambang, Teguh, Mukhtar Adinugroho, Firman Yudianto, and Leni Yuliana. 2023. "Sosialisasi

- Perhitungan Sistem Navigasi Pada Wahana Tanpa Awak Untuk Mendukung Sistem Pertahanan Nasional Di PT. AJISAKA.” *Indonesia Berdaya* 4(4):1333–40. doi:10.47679/ib.2023563.
- Isaia, Constantina, and Michalis P. Michaelides. 2023. “A Review of Wireless Positioning Techniques and Technologies: From Smart Sensors to 6G.” *Signals* 4(1):90–136. doi:10.3390/signals4010006.
- Jošt, Gregor, and Viktor Taneski. 2025. “State-of-the-Art Cross-Platform Mobile Application Development Frameworks: A Comparative Study of Market and Developer Trends.” *Informatics* 12(2). doi:10.3390/informatics12020045.
- Karyadi, Phance, Theresia Herlina Rochadiani, and Thamrin Sofian. 2024. “Sistem Navigasi Dan Rekomendasi Buku Perpustakaan Berbasis Augmented Reality.” *Decode: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi* 4(1):116–28. doi:10.51454/decode.v4i1.229.
- Kuhlmann, Tim, Pablo Garaizar, and Ulf Dietrich Reips. 2021. “Smartphone Sensor Accuracy Varies from Device to Device in Mobile Research: The Case of Spatial Orientation.” *Behavior Research Methods* 53(1):22–33. doi:10.3758/s13428-020-01404-5.
- Lida Violeta Asencios-Trujillo. 2024. “Design of a Mobile Application for Geolocation and Medical Information for University Students in Emergency Situations.” *Journal of Electrical Systems* 20(5s):2643–51. doi:10.52783/jes.2707.
- Liu, Shanshan, Yueli Feng, Xiaoqi Wang, and Pengyin Yan. 2021. “Cross-Platform Drilling 3D Visualization System Based on WebGL.” *Mathematical Problems in Engineering* 2021(1):5516278. doi:https://doi.org/10.1155/2021/5516278.
- Louro, Paula, Manuela Vieira, and Manuel A. Vieira. 2022. “Geolocalization and Navigation by Visible Light Communication to Address Automated Logistics Control.” *Optical Engineering* 61(1):16104. doi:10.1117/1.OE.61.1.016104.
- Luo, Linbo, Xiangting Hou, Wentong Cai, and Bin Guo. 2020. “Incremental Route Inference from Low-Sampling GPS Data: An Opportunistic Approach to Online Map Matching.” *Information Sciences* 512:1407–23. doi:https://doi.org/10.1016/j.ins.2019.10.060.
- Mogyorósi, Ferenc, Péter Revisnyei, Azra Pašić, Zsófia Papp, István Törös, Pál Varga, and Alija Pašić. 2022. “Positioning in 5G and 6G Networks—A Survey.” *Sensors* 22(13):1–25. doi:10.3390/s22134757.
- Park, Yoo Min. 2022. “A GPS-Enabled Portable Air Pollution Sensor and Web-Mapping Technologies for Field-Based Learning in Health Geography.” *Journal of Geography in Higher Education* 46(2):241–61. doi:10.1080/03098265.2021.1900083.
- Pinandito, Aryo, Agi Putra Kharisma, Muhammad Aminul Akbar, and Mochamad Chandra Saputra. 2024. “Peningkatan Performa Komputasi Sistem Navigasi Transportasi Publik Pada Perangkat Bergerak Melalui Penerapan Teknik Kompresi Data Dan Penyederhanaan Graf.” *Jurnal Teknologi Informasi Dan Ilmu Komputer* 11(6):1185–96. doi:10.25126/jtiik.2024118054.
- Rathore, Rachna, Priyanka Kaushik, Shailendra Singh Sikarwar, Hrithik Joshi, Atul Kumar Mishra, and Yashika Hudda. 2024. “Intelligent Transportation Systems Make Use of Fog and Edge Computing for Navigation.” Pp. 1–6 in *2024 IEEE International Conference on Interdisciplinary Approaches in Technology and Management for Social Innovation (IATMSI)*. Vol. 2.
- Sehner, Johann. 2024. “The Third Dimension in Web Maps – Experience Based on a Vector Tiles Service for the State of Bavaria.” *Abstracts of the ICA* 7(September):1–2. doi:10.5194/ica-abs-7-147-2024.
- Shibghatullah, Abdul S., Abdurrahman Jalil, Mohd H. Ab. Wahab, Joseph Ng Poh Soon, Kasthuri

- Subaramaniam, and Tillal Eldabi. 2022. "Vehicle Tracking Application Based on Real Time Traffic." *International Journal of Electrical and Electronic Engineering and Telecommunications* 11(1):67–73. doi:10.18178/ijeetc.11.1.67-73.
- Tyagi, Amit Kumar, and Niladhuri Sreenath. 2023. "Fog and Edge Computing in Navigation of Intelligent Transportation System BT - Intelligent Transportation Systems: Theory and Practice." Pp. 149–75 in, edited by A. K. Tyagi and N. Sreenath. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Wang, Chengbin, Xinqing Wang, and Jianguo Chen. 2021. "Digital Geological Mapping to Facilitate Field Data Collection, Integration, and Map Production in Zhoukoudian, China." *Applied Sciences* 11(11). doi:10.3390/app11115041.
- Xia, Jizhe, Qunying Huang, Zhipeng Gui, and Wei Tu. 2024. "Web-Based Mapping and Visualization Packages BT - Open GIS." Pp. 283–314 in, edited by J. Xia, Q. Huang, Z. Gui, and W. Tu. Cham: Springer International Publishing.
- Yang, Mengmeng, Kun Jiang, Benny Wijaya, Tuopu Wen, Jinyu Miao, Jin Huang, Cao Zhong, Wei Zhang, Huixian Chen, and Diange Yang. 2024. "Review and Challenge: High Definition Map Technology for Intelligent Connected Vehicle." *Fundamental Research*. doi:<https://doi.org/10.1016/j.fmre.2024.01.006>.
- Zou, Donglan, and Mohamad Yusof Darus. 2024. "A Comparative Analysis of Cross-Platform Mobile Development Frameworks." Pp. 84–90 in *2024 IEEE 6th Symposium on Computers & Informatics (ISCI)*.