

# Sistem Akuisisi Data *Mobile 6 Degree of Freedom* dan Koordinat Kendaraan Berbasis *LabVIEW* dengan Visualisasi *Real-Time*

Budhy Setiawan<sup>1</sup>, Alif Rayhan Naufal Aziz<sup>2</sup>, Donny Radianto<sup>3</sup>, Resti Dyah Ayu Retno Palupi<sup>4</sup>.

e-mail: [budhy.setiawan@polinema.ac.id](mailto:budhy.setiawan@polinema.ac.id), [alifrayhan02.02@gmail.com](mailto:alifrayhan02.02@gmail.com), [donny.radianto@polinema.ac.id](mailto:donny.radianto@polinema.ac.id), [restipalupi83@gmail.com](mailto:restipalupi83@gmail.com)

<sup>1,2,3,4</sup> Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Jalan Soekarno Hatta No.9 Malang, Indonesia

## Informasi Artikel

### Riwayat Artikel

Diterima 5 September 2025

Direvisi 20 September 2025

Diterbitkan 30 September 2025

### Kata kunci:

Akuisisi Data

6 Degree of Freedom (6 DOF)

IMU (*Inertial Measurement Unit*)

Kalman Filter

## ABSTRAK

Penelitian Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring dan analisis gerak kendaraan enam derajat kebebasan (6 DOF) secara real-time berbasis Internet of Things (IoT). Sistem menggunakan sensor IMU MPU6050 untuk mengukur percepatan (surge, sway, heave) dan rotasi (roll, pitch, yaw), serta modul GPS Flywoo GM10 Pro V3 untuk memperoleh informasi lokasi geografis, kecepatan, dan ketinggian. Data sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 DevKit, kemudian difilter menggunakan algoritma Kalman Filter yang terbukti mampu mengurangi riau data sebesar 6,67%–20,56% sesuai parameter pengujian. Data yang telah diolah dikirim ke Firebase Realtime Database melalui modul GSM SIM800L V2, serta ditampilkan secara lokal pada LCD 20x4. Hasil pengujian menunjukkan error pembacaan IMU berada pada kisaran 1,11%–2,02% untuk sudut, sedangkan GPS menghasilkan error posisi  $\pm 9,997$  meter, error altitude 1,88%, dan error kecepatan 7,50% dibandingkan pembanding. Visualisasi data dilakukan menggunakan perangkat lunak LabVIEW yang menyajikan grafik percepatan, rotasi, indikator sudut, visualisasi 3D, serta integrasi peta digital (OpenStreetMap) untuk pelacakan jalur kendaraan secara real-time. Dengan desain yang fleksibel, portabel, dan efisien, sistem ini layak digunakan sebagai perangkat monitoring, navigasi, serta analisis dinamika gerak kendaraan berbasis IoT.

## ABSTRACT

*This study aims to design a real-time monitoring and analysis system for six degrees of freedom (6 DOF) vehicle motion using Internet of Things (IoT) technology. The system integrates an MPU6050 IMU to measure acceleration (surge, sway, heave) and rotation (roll, pitch, yaw), along with a Flywoo GM10 Pro V3 GPS module to obtain geographical location, speed, and altitude. Sensor data are processed by an ESP32 DevKit microcontroller and filtered with a Kalman Filter, which effectively reduces data fluctuations by 6.67%–20.56% depending on the tested parameters. The processed data are transmitted to the Firebase Realtime Database via a SIM800L V2 GSM module and also displayed locally on a 20x4 LCD. Experimental results indicate that IMU measurement errors range between 1.11%–2.02% for angles, while GPS yields a position error of  $\pm 9.997$  meters, altitude error of 1.88%, and speed error of 7.50% compared to reference values. Data visualization is carried out in LabVIEW, including acceleration and rotation graphs, angle indicators, 3D representation, and digital map integration (OpenStreetMap) for real-time vehicle tracking. With its flexible, portable, and efficient design, this system is feasible for IoT-based monitoring, navigation, and vehicle dynamics analysis.*

### Keywords:

Data Acquisition

6 Degree of Freedom (6 DOF)

IMU (*Inertial Measurement Unit*)

Kalman Filter



**Penulis Korespondensi:**

Alif Rayhan Naufal Aziz

Jurusan Teknik Elektro

Politeknik Negeri Malang

Jl. Soekarno Hatta No. 9, Malang, Jawa Timur, Indonesia, Kode Pos. 65141

-Email: [alfirayhan02.02@gmail.com](mailto:alfirayhan02.02@gmail.com)

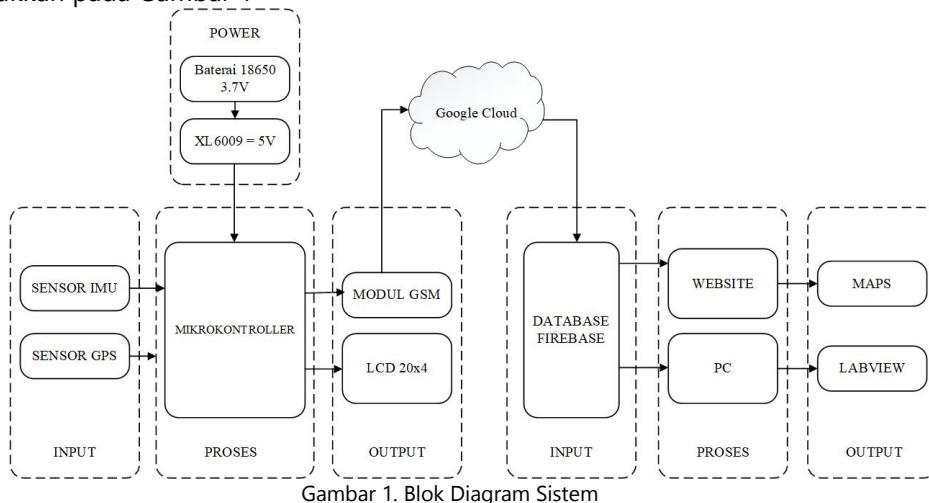
Nomor HP/WA aktif: +62 877-5795-5600

**1. PENDAHULUAN**

Kemajuan Perkembangan teknologi di bidang otomotif dan sistem kendali kendaraan telah menghasilkan berbagai inovasi untuk meningkatkan kenyamanan dan keamanan berkendara, di mana salah satu tantangan utama adalah kemampuan mengontrol gerak kendaraan secara akurat dalam kondisi dinamis dan lingkungan yang kompleks, sehingga diperlukan alat ukur yang mampu memantau parameter gerak kendaraan secara presisi serta mentransfer data secara online untuk pengolahan dan analisis lebih lanjut [1]. Penggunaan sistem akuisisi data kendaraan dapat diterapkan dalam pengujian desain, pemantauan performa, hingga mendeteksi kelayakan jalan, bahkan memiliki peran penting pada ajang kompetisi seperti balap Formula dalam menganalisis performa kendaraan dan pengemudi [2]. Dasar pengembangan sistem ini mengacu pada konsep Degree of Freedom (DOF) yang mencakup tiga gerakan translasi (surge, sway, heave) dan tiga rotasi (roll, pitch, yaw) atau dikenal dengan 6 DOF, karena sistem dengan derajat kebebasan terbatas tidak mampu memberikan gambaran lengkap tentang dinamika kendaraan [3]. Akuisisi data dilakukan dengan memanfaatkan Inertial Measurement Unit (IMU) yang menggabungkan akselerometer, giroskop, dan magnetometer untuk mengukur percepatan, kecepatan angular, dan orientasi, serta dikombinasikan dengan GPS untuk memperoleh posisi geografis secara real-time. Namun demikian, GPS rawan kehilangan sinyal di area tertutup, sementara IMU memiliki kelemahan berupa akumulasi drift sehingga diperlukan pendekatan sensor fusion agar lebih akurat [4]. Untuk mengatasi ketidakakuratan, metode Kalman Filter digunakan dalam menyaring noise sekaligus menggabungkan data GPS dan IMU sehingga estimasi posisi dan orientasi kendaraan lebih akurat [5]. Penerapan Internet of Things (IoT) memungkinkan sistem mengirimkan data secara online ke server cloud, sedangkan perangkat lunak LabVIEW digunakan untuk pengolahan dan visualisasi data real-time sehingga mendukung analisis performa gerak kendaraan secara komprehensif.

**2. METODE PENELITIAN****2.1 Perancangan Sistem**

Perancangan sistem akuisisi data kendaraan berbasis 6 Degree of Freedom (6 DOF) dilakukan dengan menyusun blok diagram sistem yang menggambarkan alur akuisisi, pemrosesan, pengiriman, dan visualisasi data, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1



Gambar 1. Blok Diagram Sistem



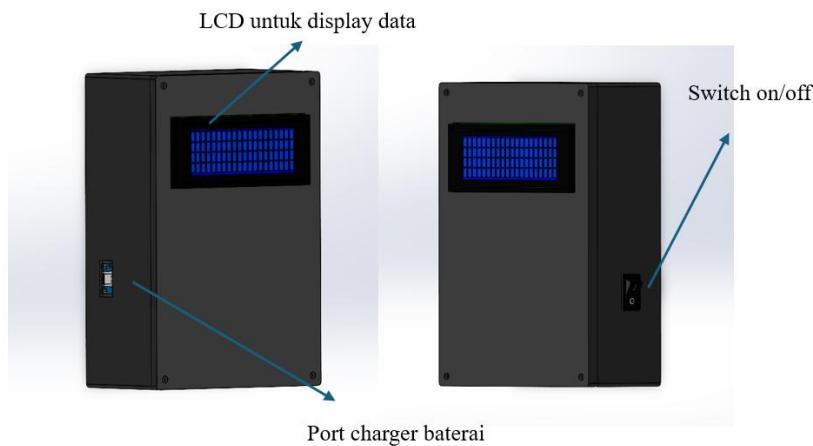
Pada Gambar 1 ditunjukkan blok diagram sistem monitoring kendaraan berbasis sensor IMU dan GPS dengan integrasi cloud. Sistem terdiri atas empat bagian utama, yaitu blok input, proses, output, dan penyimpanan cloud. Blok input menggunakan sensor IMU untuk mengukur percepatan dan orientasi kendaraan serta sensor GPS untuk menentukan posisi geografis. Data dari kedua sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 yang berfungsi sebagai pusat kendali sistem. ESP32 dipilih karena memiliki kemampuan pemrosesan yang baik serta mendukung komunikasi nirkabel. Sistem catu daya menggunakan baterai lithium 18650 3,7 V yang dinaikkan menjadi 5 V melalui modul step-up XL6009 agar sesuai dengan kebutuhan rangkaian.

Keluaran sistem terdiri dari dua jalur, yaitu tampilan lokal dan pengiriman data ke cloud. Data ditampilkan secara real-time melalui LCD 20x4 dan dikirimkan ke server menggunakan modul GSM SIM800L melalui protokol HTTP. Data selanjutnya disimpan pada database Firebase untuk keperluan monitoring daring. Data yang tersimpan di cloud dapat diakses melalui website maupun komputer menggunakan perangkat lunak LabVIEW, serta divisualisasikan pada Google Maps untuk menampilkan posisi kendaraan. Sistem ini dirancang bersifat modular dan fleksibel sehingga sesuai untuk aplikasi monitoring kendaraan berbasis *Internet of Things* (IoT).

## 2.2 Perancangan Hardware

Perancangan *hardware* berfokus pada desain fisik perangkat monitoring kendaraan, meliputi penataan komponen dan pembuatan casing pelindung. Seluruh komponen, seperti ESP32, sensor IMU, sensor GPS, modul GSM, LCD 20x4, dan modul daya, ditempatkan secara terintegrasi dalam satu unit casing. Desain mekanik mempertimbangkan aspek portabilitas, kekuatan struktur, serta ketahanan terhadap getaran selama kendaraan beroperasi.

Dimensi casing dibuat kompak agar mudah dipasang pada berbagai jenis kendaraan. Tata letak komponen diatur untuk mencegah gangguan antarkomponen serta memastikan sirkulasi udara yang memadai. Casing dilengkapi port pengisian daya eksternal sehingga pengisian baterai dapat dilakukan tanpa membuka perangkat. Gambar 2 menunjukkan desain mekanik sistem dengan penempatan komponen yang strategis. Housing dibuat dari bahan plastik ABS yang memiliki ketahanan terhadap panas dan benturan, sehingga mampu melindungi komponen elektronik saat digunakan di lingkungan lapangan. Rincian lebih lanjut mengenai elemen-elemen yang ditampilkan dalam gambar mekanik tiga dimensi tersebut dapat dilihat pada Tabel I.



Gambar 2. Desain Mekanik

TABEL 1. RINCIAN DESAIN MEKANIK LEBIH LANJUT

Parameter	Nilai
Panjang	18 cm
Lebar	11 cm
Tinggi	6 cm
Bahan Kerangka	Plastik



### 2.3 Perancangan Software

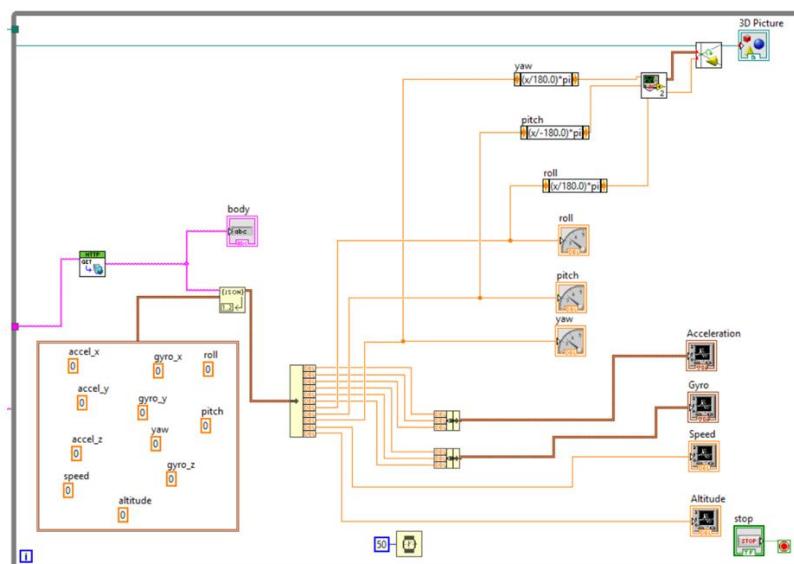
Perangkat lunak (*software*) sistem dirancang untuk mengelola proses pembacaan sensor, pengolahan data, serta komunikasi data secara real-time. ESP32 melakukan pembacaan data IMU dan GPS secara periodik, kemudian memformat data agar siap ditampilkan dan dikirimkan. Informasi penting seperti koordinat, orientasi, dan status koneksi ditampilkan secara lokal melalui LCD 20×4. Selain itu, ESP32 mengirimkan data ke Firebase Realtime Database melalui jaringan GPRS menggunakan modul GSM SIM800L. Data yang tersimpan di cloud kemudian diakses oleh perangkat lunak LabVIEW untuk keperluan visualisasi dan pemantauan jarak jauh secara real-time.

### 2.4. Metode Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja akuisisi, pengiriman, dan visualisasi data. Sistem diuji dengan memasang perangkat pada kendaraan yang bergerak dalam kondisi nyata. Parameter yang diamati meliputi data percepatan dan orientasi kendaraan dari sensor IMU serta data posisi dari sensor GPS. Keberhasilan sistem ditentukan berdasarkan kemampuan perangkat dalam menampilkan data secara lokal, mengirimkan data ke cloud tanpa gangguan signifikan, serta menampilkan hasil pengukuran secara real-time pada antarmuka LabVIEW dan peta digital.

### 2.5. Visualisasi dan Penyimpanan Data

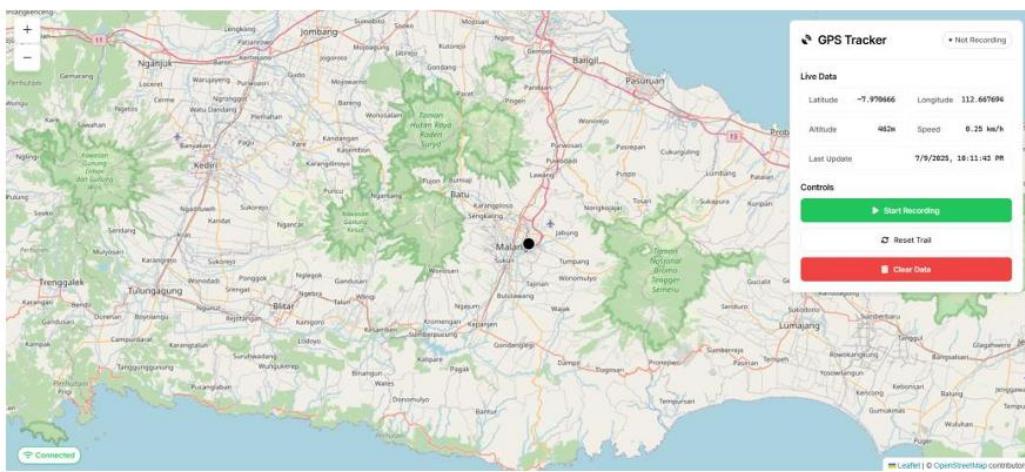
Data hasil pengukuran disimpan pada Firebase Realtime Database untuk mendukung sinkronisasi data secara cepat dan berkelanjutan. Visualisasi data dilakukan menggunakan LabVIEW dalam bentuk grafik dan indikator untuk memudahkan analisis dinamika kendaraan. Tampilan antarmuka visualisasi data kendaraan pada LabVIEW ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Block Diagram LabVIEW – Visualisasi Data Sensor

Selain itu, data koordinat GPS divisualisasikan pada Google Maps untuk menampilkan posisi dan pergerakan kendaraan secara geografis. Visualisasi pergerakan kendaraan pada peta digital ditunjukkan pada Gambar 4, yang memungkinkan pengguna melakukan pemantauan lokasi kendaraan secara daring dan real-time.





Gambar 4. Tampilan Website Maps dari GPS

Selain LabVIEW, sistem juga dilengkapi dengan peta digital berbasis web yang memanfaatkan Leaflet sebagai library visualisasi peta dan OpenStreetMap sebagai penyedia data peta. Peta digital ini menampilkan posisi kendaraan secara real-time dengan marker, serta menyimpan jejak pergerakan kendaraan (trail) yang dapat direset sesuai kebutuhan pengguna. Informasi tambahan seperti koordinat latitude, longitude, ketinggian, kecepatan, dan timestamp juga ditampilkan di panel informasi pada peta.

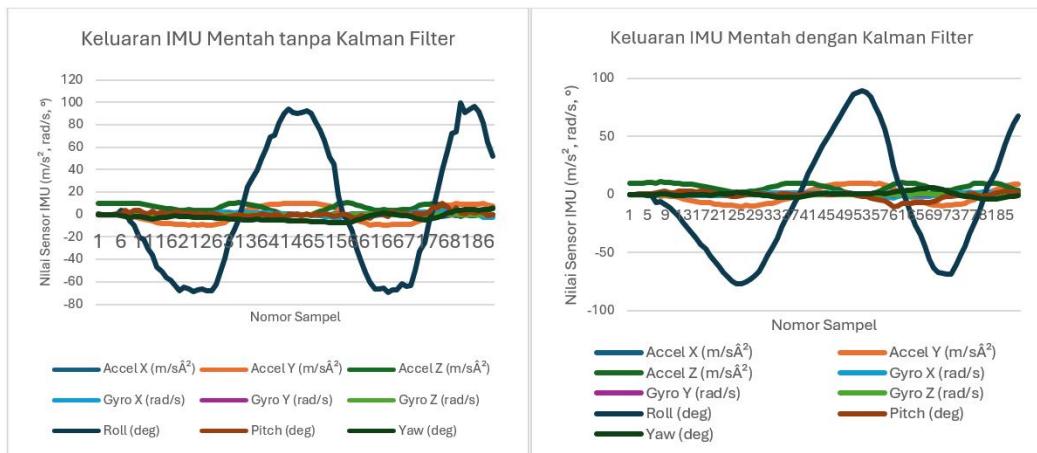
## 2.6. Prinsip Kerja

Sistem monitoring kendaraan bekerja dengan mengintegrasikan sensor IMU dan GPS untuk memperoleh data percepatan, orientasi, serta posisi kendaraan. Data sensor dibaca dan diproses oleh mikrokontroler ESP32, kemudian ditampilkan secara lokal melalui LCD 20×4. Selanjutnya, data dikirimkan secara real-time ke Firebase Realtime Database melalui modul GSM SIM800L menggunakan jaringan GPRS, sehingga dapat diakses dan divisualisasikan melalui LabVIEW serta Google Maps untuk pemantauan kendaraan secara daring.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1. Kinerja Akuisisi Data Sensor IMU

Pengujian sensor IMU dilakukan untuk mengetahui performa sensor MPU6050 dalam mengukur percepatan linear dan kecepatan sudut pada sumbu X, Y, dan Z, serta orientasi sudut roll, pitch, dan yaw. Data diambil dalam dua kondisi, yaitu tanpa menggunakan filter dan dengan penerapan Kalman Filter. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk melihat pengaruh Kalman Filter dalam mengurangi noise dan meningkatkan kestabilan data sensor.



Gambar 5 Grafik keluaran IMU mentah tanpa Kalman Filter (kiri) dan dengan Kalman Filter (kanan)



9 772356 053009

Berdasarkan Gambar 9 terlihat bahwa data mentah dari sensor IMU memiliki fluktuasi yang cukup besar, terutama pada sumbu percepatan X dan sudut rotasi. Setelah diterapkan Kalman Filter, grafik menjadi lebih halus dengan riak yang berkurang, sehingga estimasi percepatan dan orientasi lebih stabil. Hal ini menunjukkan efektivitas Kalman Filter dalam mereduksi noise pada data sensor.

Tabel II. Hasil Pengujian Sensor IMU dengan dan tanpa Kalman Filter

Parameter	Tanpa Kalman	Dengan Kalman	Pengurangan Riak
Accel X (m/s <sup>2</sup> )	0.389	0.363	6.67%
Accel Y (m/s <sup>2</sup> )	7.435	6.696	9.93%
Accel Z (m/s <sup>2</sup> )	3.525	3.185	9.65%
Gyro X (rad/s)	1.421	1.129	20.56%
Gyro Y (rad/s)	0.173	0.151	12.88%

Dari Tabel 2 dapat dilihat bahwa pengurangan riak terjadi pada semua parameter, dengan nilai antara 6,67% hingga 20,56%. Nilai pengurangan terbesar terdapat pada Gyro X dengan 20,56%, sedangkan nilai terkecil pada Accel X sebesar 6,67%. Hasil ini membuktikan bahwa Kalman Filter cukup efektif dalam meningkatkan akurasi dan kestabilan data IMU, khususnya pada parameter giroskop.

### 3.2. Kinerja Sensor GPS

Pengujian sensor GPS dilakukan dengan membandingkan data modul GPS Flywoo GM10 Pro V3 terhadap perangkat pembanding berupa aplikasi Geo Tracker dan speedometer kendaraan. Parameter yang diuji meliputi altitude, kecepatan, latitude, longitude, serta posisi. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa GPS mencatat altitude sebesar 470 m, sedangkan Geo Tracker sebesar 479 m dengan selisih 9 m atau error 1,88%. Pada kecepatan, GPS menghasilkan 18,50 km/jam dibandingkan 20 km/jam dari speedometer dengan error 7,50%. Untuk koordinat, latitude dan longitude menunjukkan selisih sangat kecil masing-masing sebesar 0,000046° dan -0,000078°, dengan error relatif di bawah 0,001%.

Tabel III. Hasil Pengujian Sensor GPS dibandingkan Geo Tracker dan Speedometer

Parameter	Refrensi	Hasil GPS	Selisih	Error
Altitude (m)	479 (Geo Tracker)	470	9	1,88%
Speed (km/h)	20,00 (Speedometer)	18,50	1,50	7,50%
Latitude (°)	-7,970746 (Geo Tracker)	-7,970700	0,000046	-0,00058%
Longitude (°)	112,667778 (Geo Tracker)	112,667700	-0,000078	-0,00007%
Posisi (m)	-	-	9,997 m	-

Secara keseluruhan, hasil pengujian yang dirangkum pada Tabel 3 memperlihatkan bahwa sensor GPS memberikan akurasi yang baik untuk keperluan monitoring posisi kendaraan secara real-time. Deviasi posisi rata-rata mencapai  $\pm 9,997$  meter, yang masih sesuai dengan karakteristik modul GPS kelas menengah. Meskipun



demikian, pengukuran kecepatan memiliki tingkat error lebih tinggi dibanding parameter lainnya, sehingga untuk aplikasi yang membutuhkan presisi tinggi, GPS sebaiknya tetap dikombinasikan dengan sensor tambahan seperti IMU untuk meningkatkan akurasi estimasi gerak kendaraan.

### 3.3. Visualisasi Monitoring Data

Pengujian visualisasi LabVIEW dilakukan dengan menggerakkan perangkat uji pada sumbu pitch untuk melihat respon sistem terhadap perubahan sudut orientasi. Tujuan dari pengujian ini adalah memastikan bahwa data dari sensor IMU yang telah diproses dapat divisualisasikan secara real-time melalui indikator numerik, grafik, serta model 3D pada antarmuka LabVIEW.

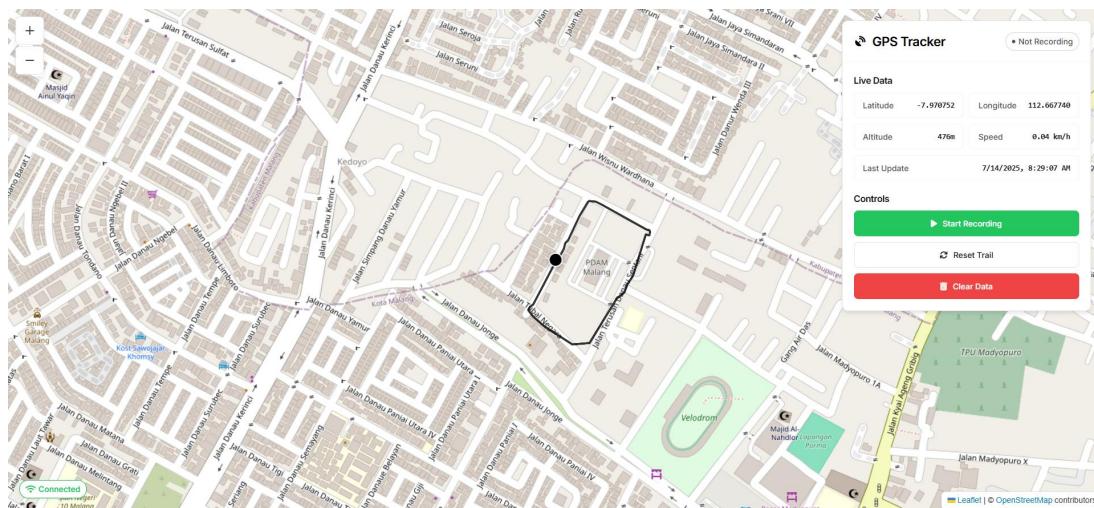
Tabel IV. Hasil Pengujian Visualisasi LabVIEW pada Gerakan Pitch

Arah Gerakan	Gambar Kondisi Fisik	Gambar LabVIEW
Pitch Bawah		
Pitch Atas		

Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4. Ketika perangkat digerakkan ke posisi pitch bawah, visualisasi LabVIEW menampilkan perubahan sudut dengan arah menunduk, yang ditunjukkan oleh pergeseran objek 3D ke bawah. Sebaliknya, saat perangkat berada pada posisi pitch atas, tampilan LabVIEW menunjukkan pergeseran sudut ke arah atas, dan objek 3D bergerak sesuai dengan orientasi perangkat. Hasil ini membuktikan bahwa sistem mampu menampilkan data sudut dari IMU dengan akurat dan sinkron terhadap kondisi fisik perangkat.

Pengujian visualisasi peta digital dilakukan untuk menampilkan data GPS secara real-time melalui website berbasis OpenStreetMap yang terhubung dengan Firebase. Tampilan ini menunjukkan koordinat latitude, longitude, altitude, serta kecepatan kendaraan yang diperoleh dari modul GPS. Selain itu, sistem juga merekam lintasan kendaraan sehingga jalur perjalanan dapat ditampilkan langsung pada peta digital.





Gambar 6 Tampilan Visualisasi Peta Digital OpenStreetMap pada Website

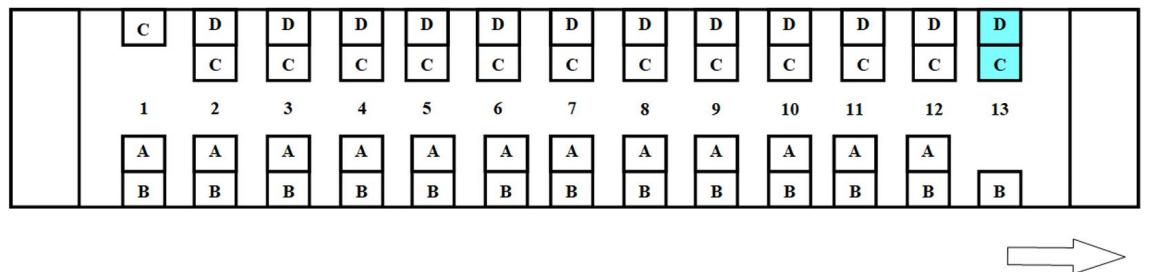
Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 10, di mana sistem berhasil menampilkan posisi kendaraan (dot hitam) pada peta beserta informasi parameter numerik seperti kecepatan 6,04 km/jam, altitude 470 m, dan koordinat sesuai lokasi pengujian. Jalur lintasan terekam membentuk garis pada peta, yang menandakan sistem mampu memantau pergerakan kendaraan dengan baik. Fitur tambahan seperti start recording, reset trail, dan clear data juga dapat digunakan untuk mengontrol tampilan lintasan secara fleksibel.

### 3.5 Evaluasi Kinerja Sistem

Pengujian sistem dilakukan secara langsung pada Kereta Api Arjuno Express di Gerbong Eksekutif 8 pada rute Surabaya–Malang. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem pada kondisi dinamis yang mendekati situasi nyata. Gerbong 8 dipilih karena memiliki stabilitas yang baik serta fasilitas meja penumpang yang mendukung penempatan perangkat seperti pada Gambar 7.

KA ARJUNO EXPRESS GERBONG EKSEKUTIF 8

SURABAYA - MALANG



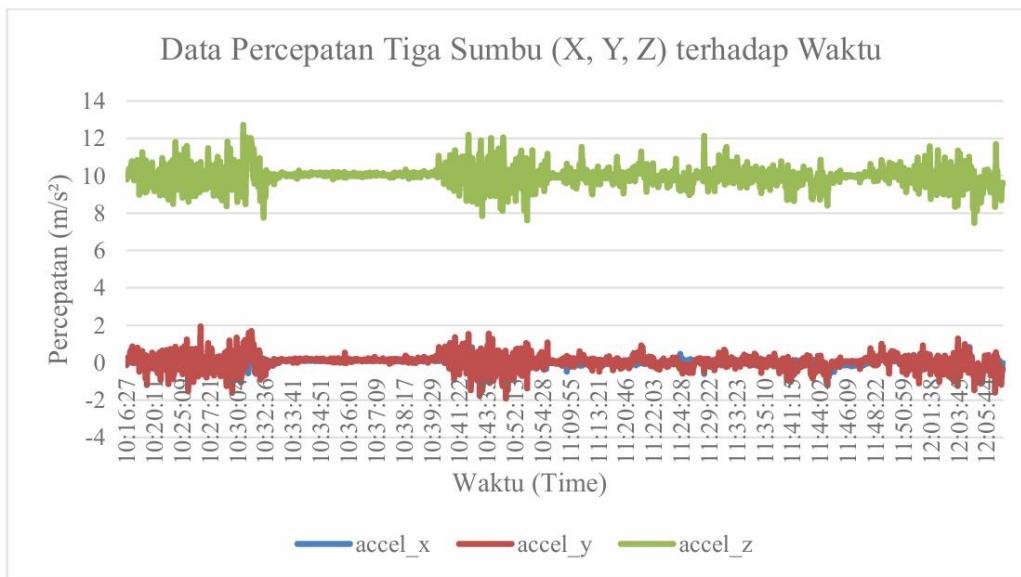
SKEMA URUTAN GERBONG KA ARJUNO EXPRESS



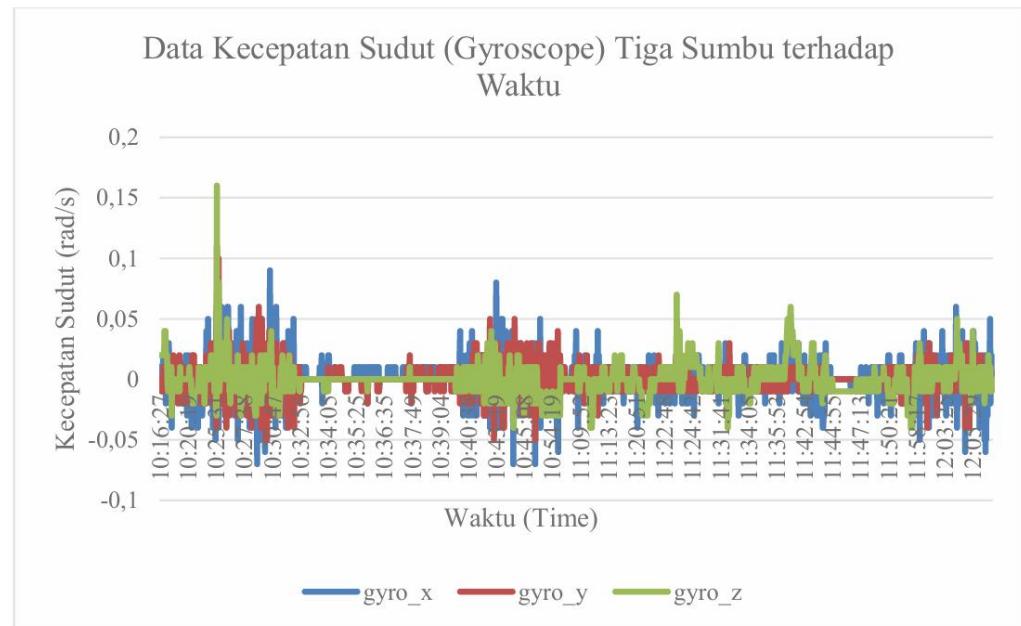
Gambar 7. Denah kursi dan urutan gerbong KA Arjuno Express

Berdasarkan Gambar 8 dan 9, grafik akselerasi dan rotasi gyroskop pada sumbu X, Y, dan Z menunjukkan respons sistem terhadap dinamika pergerakan kereta selama pengujian. Perubahan nilai akselerasi dan kecepatan sudut terjadi secara kontinu dengan fluktuasi yang relatif stabil, menandakan bahwa sensor IMU mampu merekam getaran, percepatan, dan perubahan orientasi kereta secara real-time tanpa gangguan signifikan.





Gambar 8 Grafik percepatan pada sumbu X, Y, dan Z terhadap waktu



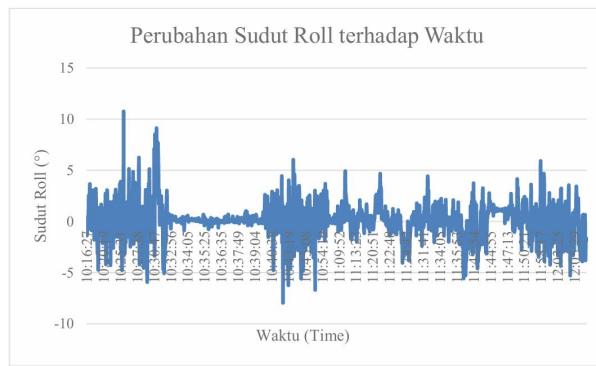
Gambar 9 Grafik percepatan pada sumbu X, Y, dan Z terhadap waktu

Selanjutnya, Gambar 10 sampai 15 menampilkan parameter orientasi dan translasi kendaraan dalam enam derajat kebebasan (6 DOF). Grafik *roll*, *pitch*, dan *yaw* menunjukkan perubahan sudut yang gradual dan konsisten, mencerminkan kondisi lintasan serta manuver kereta selama perjalanan. Sementara itu, grafik *surge*, *sway*, dan *heave* memperlihatkan karakteristik percepatan longitudinal, lateral, dan vertikal yang relatif kecil namun terdeteksi dengan baik, sesuai dengan karakteristik gerak kereta api yang stabil.

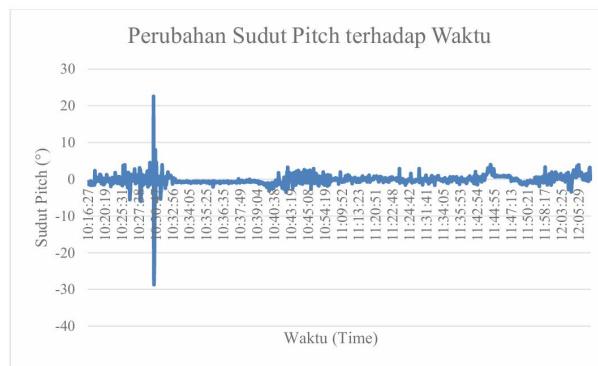
Secara keseluruhan, hasil yang ditunjukkan pada Gambar 8 sampai Gambar 15 mengindikasikan bahwa sistem akuisisi data mampu merekam dinamika gerak kendaraan secara komprehensif dan stabil. Hal ini ditunjukkan oleh konsistensi perubahan parameter orientasi dan translasi yang terrekam selama pengujian, sehingga data yang



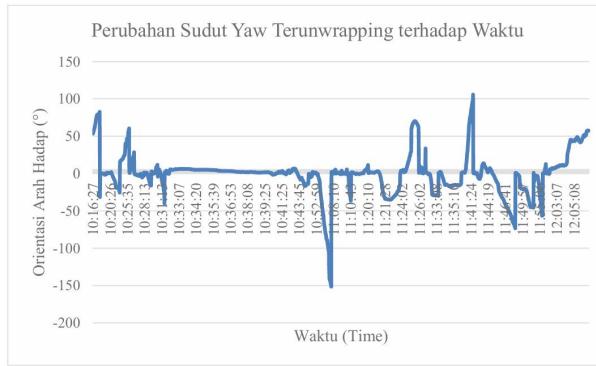
dihasilkan layak digunakan untuk analisis performa dan monitoring kendaraan berbasis enam derajat kebebasan (6 DOF).



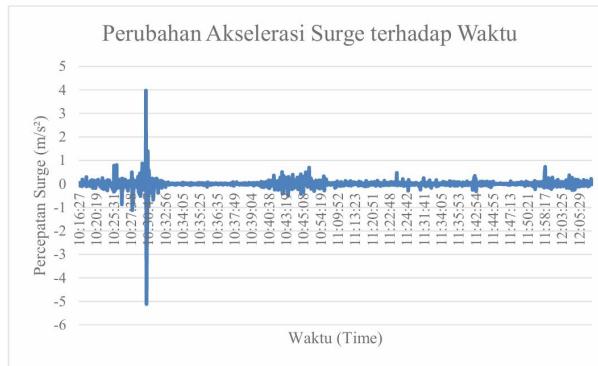
Gambar 10. Perubahan sudut **roll** kendaraan terhadap waktu.



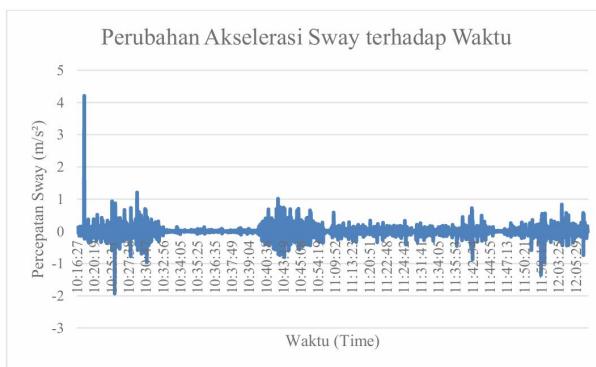
Gambar 11. Perubahan sudut **pitch** kendaraan terhadap waktu.



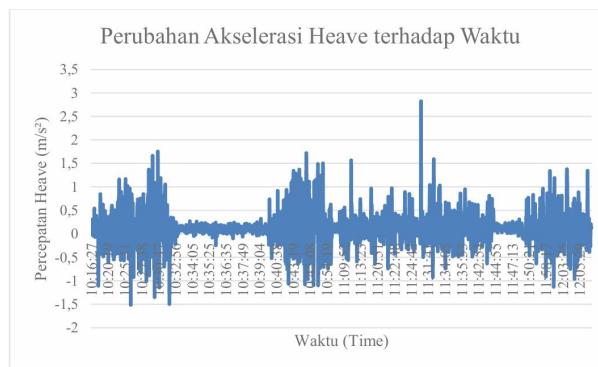
Gambar 12. Perubahan sudut yaw kendaraan terhadap waktu (hasil unwrapping sudut).



Gambar 13. Perubahan percepatan surge kendaraan terhadap waktu.



Gambar 14. Perubahan percepatan sway kendaraan terhadap waktu.



Gambar 15. Perubahan percepatan heave kendaraan terhadap waktu.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, dapat disimpulkan bahwa sistem akuisisi data kendaraan enam derajat kebebasan (6 DOF) berbasis ESP32 yang terintegrasi dengan sensor IMU MPU6050, GPS Flywoo GM10 Pro V3, dan modul GSM SIM800L mampu bekerja dengan baik untuk monitoring dan analisis gerak kendaraan secara real-time. Penerapan Kalman Filter terbukti meningkatkan kestabilan pembacaan IMU dengan pengurangan ria sebesar 6,67%–20,56%, sehingga data percepatan dan rotasi menjadi lebih akurat. Pada pengujian

p-ISSN: 2356-0533; e-ISSN: 2355-9195



GPS, sistem menghasilkan error altitude 1,88%, error kecepatan 7,50%, serta deviasi posisi  $\pm 9,997$  meter yang masih wajar untuk modul GPS kelas menengah. Modul GSM menunjukkan kinerja optimal di outdoor dengan keberhasilan 100%, sementara di indoor tetap stabil dengan keberhasilan 96% meski delay meningkat. Data yang dikirim ke Firebase dapat divisualisasikan dengan baik melalui LabVIEW dalam bentuk numerik, grafik, dan model 3D, serta melalui website berbasis OpenStreetMap yang menampilkan posisi, kecepatan, altitude, dan lintasan kendaraan secara interaktif. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan layak digunakan sebagai perangkat monitoring, navigasi, dan analisis dinamika kendaraan berbasis IoT, baik untuk penelitian maupun aplikasi praktis di bidang transportasi.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Septa, M. Furqon, R. G. Nauvaldy, Kurniawan, R. Kemal, and T. D. Tsania, "SISTEM PENGUKURAN MULTI SENSOR DENGAN AKUISISI DATA DALAM APLIKASI UJI TERBANG PESAWAT," *Jurnal TNI Angkatan Udara*, 2025.
- [2] L. F. Supit, T. W. Supardi, and T. W. Widodo, "Perancangan dan Pembuatan Data Acquisition Device Sebagai Sistem Akuisisi Data untuk Kendali Mobil Formula Student," *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 13, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.22146/ijeis.83395.
- [3] A. Hidayatno and D. Wahyudi, "Rancang Bangun Inertial Measurement Unit Sebagai Sistem Monitoring Kendaraan Bergerak Berbasis Sensor Accelerometer dan Gyroscope," 2011.
- [4] M. Erbaş and G. Demirhan Aydin, "Review of GPS and IMU System Performance in Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) İnsansız Hava Araçlarında (İHA) GPS ve IMU Sistem Performansının İncelenmesi Özeti," 2025.
- [5] M. A. R. Wicaksono, F. Kurniawan, and L. Lasmadi, "Kalman Filter untuk Mengurangi Derau Sensor Accelerometer pada IMU Guna Estimasi Jarak," *AVITEC*, vol. 2, no. 2, Aug. 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i2.752.

