

# IMPLEMENTASI FUSI DATA SENSOR IMU DENGAN COMPLEMENTARY FILTER PADA SISTEM PELACAKAN KENDARAAN BERBASIS IOT

Romi Ardiansyah<sup>1</sup>, Kartika Sari<sup>2\*</sup>, Irma Nirmala<sup>3</sup>

Prodi Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA Universitas Tanjungpura, Pontianak

e-mail : [romiardiansyah2510@gmail.com](mailto:romiardiansyah2510@gmail.com), [kartika.sari@siskom.untan.ac.id](mailto:kartika.sari@siskom.untan.ac.id), [irma.nirmala@siskom.untan.ac.id](mailto:irma.nirmala@siskom.untan.ac.id)

## Abstrak

Sistem pelacakan kendaraan berbasis Internet of Things (IoT) umumnya memanfaatkan Global Positioning System (GPS) untuk pemantauan posisi kendaraan, namun akurasi dapat menurun pada kondisi lingkungan tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT dengan mengintegrasikan sensor GPS Neo-6M dan sensor IMU MPU6050. Pada sistem ini, metode Complementary Filter diterapkan pada sensor IMU MPU6050 untuk menggabungkan data accelerometer dan gyroscope sehingga diperoleh estimasi arah pergerakan kendaraan yang lebih stabil. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32 dan dihubungkan dengan chatbot Telegram sebagai media penyampaian informasi posisi dan arah pergerakan kendaraan. Pengujian dilakukan pada berbagai kondisi lingkungan, meliputi area terbuka, antar gedung, di dalam gedung parkir, serta area menanjak dan menurun. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penerapan Complementary Filter mampu mengurangi rata-rata selisih pengukuran sudut, dari 16,57° menjadi 3,18° di area terbuka, dari 19,36° menjadi 5,22° di area antar gedung, dari 9,19° menjadi 3,65° di gedung parkir, dan dari 21,72° menjadi 9,38° di area menanjak dan menurun. Sistem juga berhasil mengirimkan notifikasi otomatis maupun berdasarkan permintaan pengguna melalui chatbot Telegram. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Complementary Filter efektif dalam meningkatkan akurasi arah pergerakan kendaraan dan mendukung pelacakan yang andal diberbagai kondisi lingkungan.

**Kata kunci** : Complementary Filter, Fusi Data, GPS, IMU, Arah

## I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi berlangsung sangat cepat dari waktu ke waktu. Penggunaan teknologi di berbagai bidang dapat meningkatkan efisiensi dan mempermudah penyelesaian masalah. Salah satu penerapannya terdapat pada sistem pelacakan kendaraan. Sistem pelacakan kendaraan merupakan teknologi yang banyak digunakan untuk memantau posisi dan pergerakan kendaraan secara *real-time* [1]. Teknologi ini umumnya memanfaatkan *Global Positioning System* (GPS) sebagai sumber utama informasi posisi dan diintegrasikan dengan *Internet of Things* (IoT). Istilah *Internet of Things* (IoT) mengacu pada pemanfaatan internet yang lebih luas, dengan mengadopsi komputasi *mobile* dan konektivitas, serta mengintegrasikannya ke dalam kehidupan sehari-hari [2]. Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) dan *Global Positioning System* (GPS) yang terintegrasi dengan aplikasi *android* dalam sistem pelacakan akan mempermudah proses pendeteksian lokasi kendaraan [3].

Meskipun GPS banyak digunakan dalam sistem pelacakan, teknologi ini memiliki keterbatasan pada kondisi lingkungan tertentu. Gangguan seperti efek *multipath*, hambatan bangunan, dan lingkungan tertutup dapat menyebabkan posisi GPS menjadi tidak akurat. Ketidakstabilan data ini berpotensi menurunkan keandalan sistem pelacakan [4]. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan tambahan untuk mendukung dan melengkapi data GPS agar sistem tetap dapat memberikan informasi yang akurat.

Sensor *Inertial Measurement Unit* (IMU) merupakan salah satu solusi yang dapat digunakan untuk mengatasi keterbatasan tersebut. IMU mampu mendeteksi percepatan dan perubahan arah kendaraan secara *real-time*, sehingga dapat memberikan informasi arah ketika sinyal GPS terganggu [5]. Namun, data yang dihasilkan oleh sensor IMU juga memiliki kelemahan. *Accelerometer* rentan terhadap *noise* akibat getaran, sedangkan *gyroscope* mengalami *drift* jika digunakan dalam jangka waktu lama [6]. Kondisi ini menyebabkan estimasi arah pergerakan menjadi tidak stabil jika hanya mengandalkan satu sensor saja.

Oleh karena itu, diperlukan teknik fusi data sensor untuk menggabungkan keunggulan keduanya.

Salah satu metode yang umum digunakan adalah *Complementary Filter* (CF), yaitu metode yang menggabungkan data *accelerometer* dan *gyroscope* dari IMU untuk menghasilkan estimasi orientasi yang lebih stabil dan responsif. Metode ini relatif sederhana, ringan secara komputasi, dan cocok untuk diterapkan pada sistem *embedded* berbasis mikrokontroler seperti ESP32. Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan akurasi pelacakan posisi kendaraan dengan menggabungkan data dari sensor IMU.

Dengan penerapan metode *Complementary Filter*, sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kestabilan estimasi arah pergerakan, khususnya pada kondisi ketika sinyal GPS melemah. Namun, meskipun sistem pelacakan berbasis GPS telah banyak digunakan dan sensor IMU semakin banyak diterapkan dalam aplikasi navigasi, masih terdapat beberapa celah penting yang belum teratasi dalam penelitian sebelumnya.

Banyak penelitian sebelumnya masih bergantung pada data GPS mentah dan tidak mengintegrasikan strategi koreksi berbasis IMU ketika penerimaan sinyal satelit melemah, seperti di area perkotaan yang padat, area parkir bertingkat, atau lingkungan tertutup. Selain itu, penelitian yang menggunakan sensor IMU umumnya masih memproses data *accelerometer* dan *gyroscope* secara terpisah, tanpa menerapkan mekanisme fusi yang kuat untuk secara bersamaan mengurangi *noise* pada *accelerometer* dan *drift* pada *gyroscope*. Di samping itu, penelitian yang menggabungkan fusi sensor berbasis *Complementary Filter* (CF) dengan sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT, khususnya yang terintegrasi dengan *platform* notifikasi *real-time* seperti Telegram, masih terbatas dan jarang diuji pada berbagai kondisi lingkungan yang berbeda.

Berdasarkan celah tersebut, kebaruan dalam penelitian ini terletak pada integrasi data GPS dan IMU menggunakan metode *Complementary Filter* (CF) dalam sistem pelacakan berbasis IoT yang menggunakan ESP32 dan berkomunikasi melalui *chatbot* Telegram. Sistem yang diusulkan tidak hanya meningkatkan akurasi arah melalui fusi sensor yang ringan namun efektif, tetapi juga dilengkapi dengan evaluasi menyeluruh pada berbagai kondisi nyata, seperti area terbuka, koridor bangunan, area parkir dalam ruangan, serta medan yang menanjak.



Gambar 1. Neo-6M

Pendekatan ini menunjukkan peningkatan yang terukur pada kestabilan sudut, sehingga menghasilkan solusi pelacakan kendaraan yang lebih andal dan adaptif terhadap berbagai kondisi lingkungan.

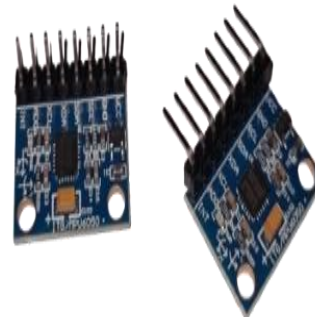
## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1. Sensor Neo-6M

Neo-6M adalah modul penerima sinyal GPS yang dikembangkan oleh *U-Blox*. Modul ini terdiri dari komponen GY-GPSV3-NEO, biasanya digunakan dalam berbagai aplikasi termasuk pelacakan kendaraan [7]. Modul GPS NEO-6M dapat dilihat pada Gambar 1.

### 2.2. Sensor MPU6050

MPU6050 adalah salah satu jenis perangkat elektronik yang digunakan untuk mengukur inersia atau yang disebut dengan *Inertial Measurement Unit* (IMU). *Inertial Measurement Unit* (IMU) merupakan perangkat elektronik yang



menggunakan kombinasi dari sensor *accelerometer* dan sensor

Gambar 2. MPU6050

*gyroscope* untuk menghitung dan membaca kecepatan, pergerakan dan gaya gravitasi [8]. Sensor MPU 6050 terdiri atas 2 sensor yaitu 3 *Axis Accelerometer* ( $ax$ ,  $ay$ ,  $az$ ) dan 3 *Axis Gyroscope* ( $gx$ ,  $gy$ ,  $gz$ ). Gerakan *pitch* menggambarkan rotasi menanjak dan menurun searah sumbu  $x$ , gerakan *roll* menggambarkan rotasi kiri kanan searah sumbu  $y$  dan gerakan *yaw* adalah rotasi mengitari berdasarkan sumbu  $z$  [9]. Sensor MPU6050 dapat dilihat pada Gambar 2.

**2.2.1. Accelerometer**

Accelerometer adalah sensor yang digunakan untuk mengukur percepatan suatu objek. Percepatan ini dapat berupa percepatan dinamis yang merupakan percepatan pada pergerakan atau getaran objek, dan percepatan statis yang merupakan percepatan gravitasi bumi [10].

Sudut accelerometer mengukur percepatan pada tiga sumbu, yaitu:  $accX$ ,  $accY$ , dan  $accZ$  [11]. Persamaan (1) dan (2) [11] merupakan persamaan untuk menghitung nilai accelerometer pitch dan accelerometer roll.

$$\theta_{pitch} = atan^2 \left( \frac{-accX}{\sqrt{accY^2 + accZ^2}} \right) \times \frac{180}{\pi} \tag{1}$$

$$\theta_{roll} = atan^2 \left( \frac{-accY}{\sqrt{accX^2 + accZ^2}} \right) \times \frac{180}{\pi} \tag{2}$$

Keterangan:

$accX, accY, accZ$ : Nilai sumbu accelerometer

$atan$ : Menghitung sudut dalam radian

$\frac{180}{\pi}$  = Mengubah radian ke derajat ( $\pi$ : 3,14)

**2.2.2. Gyroscope**

Gyroscope adalah sensor yang berfungsi untuk mengukur percepatan sudut suatu objek. Gyroscope berfungsi untuk menstabilkan dan menghaluskan estimasi sudut dari accelerometer yang cenderung berfluktuasi akibat getaran [12]. Sumbu  $x$  pada gyroscope digunakan untuk menghitung sudut pitch, sumbu  $y$  digunakan untuk menghitung sudut roll dan sumbu  $z$  digunakan untuk menghitung sudut yaw. Persamaan (3) dan (4) merupakan persamaan untuk menghitung nilai gyro pitch dan gyro roll.

$$\underline{Gyro}_{pitch} = \theta_{pitch} + \omega_y \cdot dt \tag{3}$$

$$\underline{Gyro}_{roll} = \theta_{roll} + \omega_x \cdot dt \tag{4}$$

Keterangan:

$\omega_x$  dan  $\omega_y$  = Kecepatan sudut gyroscope

$dt$  = Selang waktu

$\theta_{pitch}$  dan  $\theta_{roll}$  = Sudut accelerometer

**2.3. Sensor Fusion** Sensor Fusion merupakan proses penggabungan informasi dari beberapa sensor yang memiliki karakteristik berbeda untuk menghasilkan estimasi yang lebih akurat dan stabil dibandingkan penggunaan sensor secara terpisah. Fusi sensor mengintegrasikan data yang diperoleh dari berbagai aspek untuk mengurangi jumlah ketidakpastian dan mengatasi kekurangan sensor individual yang beroperasi secara independen [13].

**2.4. Complementary Filter**

Complementary Filter adalah metode yang berfungsi untuk melakukan filter nilai sensor IMU agar nilai tersebut memiliki noise yang kecil sehingga datanya lebih akurat [9].

Complementary filter adalah salah satu algoritma sensor fusion, filter tersebut menggabungkan 2 jenis input berbeda yaitu dari data gyroscope dan accelerometer yang diproses sehingga mendapatkan nilai output dari filter tersebut [14]. Adapun jenis filter tersebut antara lain high pass filter dari hasil keluaran gyroscope dan low pass filter dari keluaran accelerometer [15]. Complementary Filter menggunakan persamaan yang dapat dilihat pada Persamaan 5 [9].



Gambar 3. Perancangan Arsitektur Sistem

$$angle = K \cdot (angle + gyro \cdot dt) + (1 - K) \cdot \theta_{acc} \tag{5}$$

Keterangan:

angle = Hasil Complementary Filter

$K$  = Konstanta filter (0,68)

gyro = Nilai sudut gyroscope

$dt$  = Selang waktu

$\theta_{acc}$  = Nilai sudut accelerometer

**III. METODOLOGI**

**3.1 Studi Literatur**

Studi literatur dilakukan untuk mengumpulkan informasi yang berkaitan dengan sistem pelacakan kendaraan, sensor IMU, dan GPS. Literatur yang dikaji mencakup jurnal ilmiah, buku, serta artikel yang relevan untuk mendukung pengembangan sistem ini. Kajian mengenai sensor IMU difokuskan pada pemahaman konsep accelerometer dan gyroscope dalam mengukur sudut kemiringan, serta penerapan metode Complementary Filter untuk meningkatkan akurasi data. Sementara itu, kajian pada sensor GPS difokuskan pada prinsip kerja



Gambar 4. Impementasi Sistem

penentuan posisi menggunakan koordinat latitude dan longitude.

### 3.2 Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Pada perangkat keras, sensor Neo-6M dan sensor MPU6050 terhubung ke mikrokontroler ESP32, kemudian pada perangkat lunak, ESP32 terhubung ke *Firestore* sebagai tempat penyimpanan data. Pengguna dapat menerima data yang telah diolah dari ESP32 melalui pesan yang dikirim ke *chatbot* Telegram. Perancangan arsitektur sistem dapat dilihat pada Gambar 3.

### 3.3 Implementasi Sistem

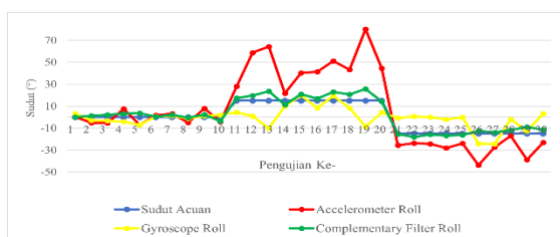
Sistem ini dirancang untuk mendeteksi lokasi dan arah pergerakan kendaraan. Sistem akan dihubungkan dengan sistem kelistrikan kendaraan, kemudian mulai mengambil data lokasi dan pergerakan kendaraan. Data tersebut akan disimpan ke dalam database melalui koneksi internet yang didukung oleh modem *wifi*. Implementasinya dapat dilihat pada Gambar 4.

## IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 4.1. Pengujian Sistem

#### 4.1.1. Pengujian Sistem Di Area Terbuka

Pengujian pada area terbuka dilakukan untuk mengetahui performa sistem dalam kondisi ideal. Pengujian ini dilakukan dengan menyusuri Jalan Jenderal Ahmad Yani kota Pontianak. Hasil pengujian di area terbuka menunjukkan bahwa hasil pengukuran tanpa *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar 16,57°. Sedangkan hasil pengukuran dengan *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar 3,18°. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Pengujian di Area Terbuka

#### 4.1.2. Pengujian Sistem Di Area Antar Gedung

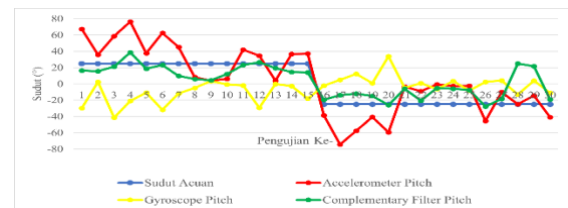
Pengujian di area antar gedung dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem ketika GPS berada pada kondisi dengan *multipath effect*, yaitu pemantulan sinyal akibat keberadaan bangunan tinggi di sekitar kendaraan. Area yang dipilih adalah kawasan Ayani Megamall Pontianak.

Hasil pengujian di area antar gedung menunjukkan bahwa hasil pengukuran tanpa *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar 19,36°.

Sedangkan hasil pengukuran dengan *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar 5,22°. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 6.

#### 4.1.3. Pengujian Sistem Di Dalam Gedung Parkir

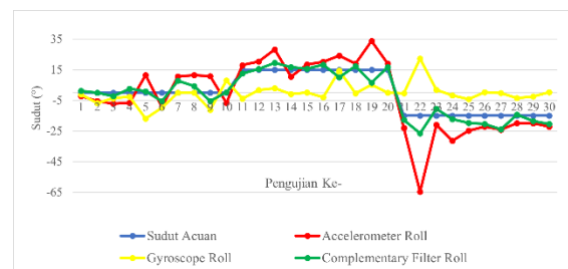
Pengujian di dalam area gedung parkir ini dilakukan untuk mengetahui performa sistem terutama ketika GPS berada pada kondisi sinyal



Gambar 6. Grafik Pengujian Di Area Antar Gedung

yang sangat lemah atau bahkan hilang. Pengujian ini juga menjadi acuan untuk mengetahui sejauh mana IMU mampu membantu memberikan arah pergerakan ketika GPS tidak optimal. Pengujian ini dilakukan di gedung parkir Gaia Bumi Raya City.

Hasil pengujian di dalam gedung parkir menunjukkan bahwa hasil pengukuran tanpa *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar 9,19°. Sedangkan hasil pengukuran dengan *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar 3,65°. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 7.

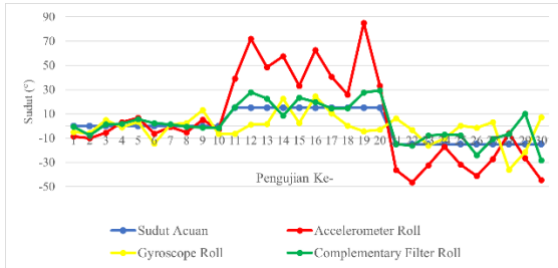


Gambar 7. Grafik Pengujian Di Dalam Gedung Parkir

#### 4.1.4. Pengujian Sistem Di Area Menanjak dan Menurun

Pengujian pada area menanjak dan menurun dilakukan untuk mengetahui kinerja sistem ketika kendaraan berada pada kondisi jalan dengan kontur berbeda. Proses pengujian ini dilakukan dengan melintasi Jembatan Kapuas 1. Area ini memiliki struktur jalan menanjak dan menurun serta lokasi yang terbuka.

Hasil pengujian pada area menanjak dan menurun menunjukkan bahwa hasil pengukuran tanpa *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar  $21,72^\circ$ . Sedangkan hasil pengukuran dengan *Complementary Filter* memiliki selisih rata-rata sebesar  $9,38^\circ$ . Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik Pengujian Di Area Menanjak dan Menurun

#### 4.3. Pembahasan

Sensor MPU6050 digunakan untuk mengukur sudut kemiringan terhadap sumbu *roll*, yang kemudian diinterpretasikan sebagai arah pergerakan kendaraan, yaitu berbelok ke kanan atau ke kiri, sedangkan sumbu *pitch* diinterpretasikan sebagai kondisi menanjak atau menurun. Sudut acuan sebesar  $0^\circ$ ,  $-15^\circ$ , dan  $15^\circ$  pada sumbu *roll* digunakan sebagai pembanding untuk menunjukkan posisi kendaraan, apakah bergerak lurus atau berbelok. Sementara itu, sudut acuan  $25^\circ$  dan  $-25^\circ$  pada sumbu *pitch* digunakan untuk merepresentasikan kondisi jalan menanjak dan menurun. Seluruh sudut acuan diperoleh melalui pengukuran manual sesuai dengan kebutuhan sistem.

Pada pengujian tanpa penggunaan *Complementary Filter*, data sudut dari *accelerometer* menunjukkan nilai yang tinggi, cenderung berfluktuasi, serta sangat sensitif terhadap perubahan percepatan secara tiba-tiba sehingga menghasilkan *noise* yang besar. Sebaliknya, *gyroscope* menghasilkan data yang lebih halus namun mengalami *drift*, yaitu pergeseran nilai sudut secara perlahan. Pada pengujian dengan *Complementary Filter*, proses penggabungan data *accelerometer* dan *gyroscope* menghasilkan nilai *pitch* dan *roll* yang lebih halus dan mendekati kondisi sebenarnya. Penggunaan konstanta filter ( $K = 0,68$ ) dan interval waktu ( $dt = 0,01$  s) terbukti efektif dalam menyeimbangkan antara kestabilan dan kecepatan respons. Nilai sudut hasil fusi menunjukkan kemampuan sistem dalam mereduksi *noise* dari *accelerometer* sekaligus mengoreksi *drift* pada *gyroscope*.

Selain meningkatkan akurasi data IMU, proses ini juga berkontribusi pada peningkatan akurasi sistem pelacakan kendaraan. Data IMU yang telah distabilkan digunakan untuk membantu mengoreksi dan menjaga kontinuitas data GPS, terutama saat terjadi gangguan sinyal atau fluktuasi koordinat

akibat pantulan sinyal (*multipath*). Hal ini menghasilkan informasi posisi kendaraan yang lebih konsisten dan representatif.

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini sebagai berikut:

1. Penerapan metode *Complementary Filter* berhasil dilakukan untuk mengoptimalkan hasil estimasi arah pergerakan kendaraan pada sistem pelacakan berbasis IoT. Data dari sensor MPU6050 diproses dengan menggabungkan nilai percepatan dari *accelerometer* dan kecepatan sudut dari *gyroscope*. Proses fusi data dijalankan di mikrokontroler ESP32 dengan konstanta filter  $K = 0.68$  dan interval waktu  $dt = 0.01$  s. Hasil penerapan menunjukkan bahwa metode ini efektif mengoreksi *drift* pada *gyroscope* dan meredam *noise* pada *accelerometer*, sehingga menghasilkan arah pergerakan yang lebih stabil dan akurat pada sistem pelacakan kendaraan.
2. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode *Complementary Filter* efektif dalam menghasilkan arah pergerakan yang lebih stabil dan akurat. Berdasarkan hasil pengujian, rata-rata selisih pengukuran antara hasil pengukuran sensor MPU6050 dengan sudut acuan menurun, yaitu dari  $16,57^\circ$  menjadi  $3,18^\circ$  di area terbuka, dari  $19,36^\circ$  menjadi  $5,22^\circ$  di area antar gedung, dari  $9,19^\circ$  menjadi  $3,65^\circ$  di dalam gedung parkir, dan dari  $21,72^\circ$  menjadi  $9,38^\circ$  di area menanjak dan menurun. Hal ini menunjukkan bahwa metode *Complementary Filter* mampu meningkatkan akurasi arah pergerakan kendaraan, menjadikannya solusi yang efisien untuk sistem pelacakan kendaraan berbasis IoT.

### 5.2. SARAN

Berikut beberapa saran yang dapat diambil dari hasil pengujian yang telah dilaksanakan:

1. Menerapkan metode yang berbeda untuk membandingkan performanya dengan metode *Complementary Filter*. Metode lain seperti *Kalman Filter* dan *Madgwick Filter* dapat digunakan sebagai pembanding untuk mengetahui tingkat akurasi dan kestabilan hasil perhitungan.
2. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan *dashboard* monitoring dengan fitur yang dapat menampilkan data posisi kendaraan, grafik perubahan arah pergerakan dan fitur lainnya yang relevan.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. D. Wibowo, Y. Saragih, and R. Hidayat, "Implementasi Modul GPS Ublox 6M dalam Rancang Bangun Sistem Keamanan Motor Berbasis Internet of Things," vol. 15, no. 2.
- [2] D. Danang, E. Fredyan, and I. S. Suasana, "Prototype Alat Keamanan Rumah Internet Of Things (Iot) Berbasis Nodemcu Esp8266 Dengan Esp32 Cam Dan Kombinasi Sensor Menggunakan Telegram," *J. Univers. Tech.*, vol. 1, no. 1, pp. 1–9, 2022, [Online]. Available: <https://journal.unimar-amni.ac.id/index.php/UNITECH/article/view/11>
- [3] S. Irma, T. Ahmad, and T. W. Adi, "Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Berbasis IoT (Internet of Things)," *J. REAL-TIME BERBASIS NODEMCU ESP8266 DENGAN APLIKASI MOBILE*, vol. 14, no. 1, pp. 27–36, 2025.
- [8] P. Ayu Zartika, M. Kusumawardani, J. Teknik Elektro, and P. Negeri Malang, "Rancang Bangun Mouse untuk Penyandang Disabilitas Menggunakan Sensor MPU-6050 dengan Metode Kalman Filter sebagai Peredam Noise," vol. 11, no. 4, pp. 188–194, 2021.
- [9] S. Hidayatullah, G. E. Setyawan, and S. R. Akbar, "Perancangan Perangkat Pengendali Navigasi AR Drone Quadcopter Berbasis Hand Gesture dengan Metode Complementary Filter," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 9, pp. 3321–3327, 2018.
- [10] M. Ari, R. Wicaksono, and F. Kurniawan, "Kalman Filter untuk Mengurangi Derau Sensor Accelerometer pada IMU Guna Estimasi Jarak," vol. 2, no. 2, pp. 145–159, 2020.
- [11] M. Mudarris and S. G. Zain, "Implementasi Sensor Inertial Measurement Unit (IMU) untuk Monitoring Perilaku Roket," *Avitec, Fasilkom*, vol. 10, no. 2, pp. 103–112, 2020.
- [4] B. Purwanto, "Penyimpangan Penentuan Posisi Perangkat Global Positioning System (GPS)," *Ecolab*, vol. 16, no. 2, pp. 99–107, 2022, doi: 10.20886/jklh.2022.16.2.99-107.
- [5] S. Y. Alaba, "GPS-IMU Sensor Fusion for Reliable Autonomous Vehicle Position Estimation," 2024, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2405.08119>
- [6] M. N. ÖZ, S. BUDAK, E. KURNAZ, and A. DURDU, "Orientation Determination in IMU Sensor with Complementary Filter," *Turkish J. Forecast.*, vol. 06, no. 1, pp. 34–39, 2022, doi: 10.34110/forecasting.1126184.
- [7] P. C. Aditiya, D. Djuniadi, and A. H. Al-azhari, "SISTEM PELACAKAN DAN KEAMANAN KENDARAAN BERMOTOR SECARA vol. 2, no. 1, pp. 55–64, 2020, doi: 10.28989/avitec.v2i1.610.
- [12] I. A. Faisal, T. W. Purboyo, A. Siswo, and R. Ansori, "A Review of Accelerometer Sensor and Gyroscope Sensor in IMU Sensors on Motion Capture," vol. 15, no. 3, pp. 826–829, 2020.
- [13] D. J. Yeong, Gustavo Velasco-Hernandez. John Barry., and Joseph Walsh, "Sensor and Sensor Fusion Technology in Autonomous Vehicles : A Review," 2021.
- [14] P. A. R. Leo Lede, "Implementasi Algoritma Complementary Filter untuk Merancang Bangun Interaksi Manusia dan Smartphone Menggunakan Gerakan Kepala," *J. Poli-Teknologi*, vol. 19, no. 3, pp. 207–216, 2021, doi: 10.32722/pt.v19i3.3024.
- [15] I. D. Cahyo, W. Kurniawan, M. Hannats, and H. Ichsan, "Implementasi Complementary Filter Pada Perancangan Alat Bantu Makan Penderita Parkinson," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 3, no. 1, pp. 770–773, 2019.