



SISTEM KONTROL SIKAP DAN SISTEM TELEMETRI, PELACAK, KOMANDO, DAN JARAK

Marsun¹, Muhamad Arif², Eko Kustiawan³, Dian Utami⁴, Suwandi⁵, Nurman Yakin⁶
Universitas Yupentek Indonesia^{1,2,3,4,5,6}
e-mail: fakultasteknikuyi22@gmail.com

Diterima: 5/5/2026; Direvisi: 16/5/2026; Diterbitkan: 22/6/2026

ABSTRAK

Kebutuhan akan sistem yang mampu mempertahankan kestabilan gerak sekaligus menjamin kontinuitas pertukaran data semakin meningkat seiring berkembangnya teknologi robotika, navigasi cerdas, dan kendaraan tanpa awak. Tantangan tersebut mendorong pengembangan suatu arsitektur yang tidak hanya berfokus pada ketepatan pengendalian orientasi, tetapi juga pada kemampuan komunikasi data yang berlangsung secara berkelanjutan dalam satu lingkungan operasional. Penelitian ini mengeksplorasi integrasi sistem kontrol sikap dan telemetri berbasis komunikasi nirkabel melalui penggabungan sensor akselerometer, giroskop, aktuator, serta modul radio 433 MHz yang diimplementasikan pada perangkat bergerak berbasis robotika. Kinerja sistem dievaluasi melalui serangkaian pengujian yang menitikberatkan pada akurasi orientasi, tingkat kesalahan pembacaan, respons pengendalian, keterlambatan komunikasi, dan keberhasilan transmisi data. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mempertahankan *error* orientasi pada rentang $0,5^{\circ}$ – $1,3^{\circ}$ dengan waktu respons rata-rata kurang dari satu detik. Pada aspek telemetri, keberhasilan pengiriman data masih mencapai 91% pada jarak 250 meter meskipun terjadi peningkatan *delay* komunikasi seiring bertambahnya jarak transmisi. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa pengendalian orientasi dan komunikasi data dapat diintegrasikan secara efektif dalam satu sistem yang bekerja secara *real-time*. Kontribusi penelitian ini terletak pada penyatuan fungsi kendali dan telemetri dalam satu rancangan operasional yang mampu mendukung kebutuhan pemantauan dan pengendalian secara simultan pada berbagai aplikasi berbasis robotika modern dan *Internet of Things (IoT)*.

Kata Kunci: *System Kontrol Sikap, Sistem Telemetri, Closed-Loop Control, Sensor IMU, Robotika*

ABSTRACT

The growing demand for systems capable of maintaining motion stability while ensuring continuous data exchange has become increasingly evident with the advancement of robotics, intelligent navigation technologies, and unmanned vehicles. This challenge has encouraged the development of an architecture that not only emphasizes accurate attitude control but also supports sustainable data communication within a unified operational environment. This study explores the integration of an attitude control system and a wireless telemetry system through the combination of accelerometer and gyroscope sensors, actuators, and a 433 MHz radio module implemented on a robotics-based mobile platform. System performance was evaluated through a series of tests focusing on orientation accuracy, measurement error, control response, communication delay, and data transmission success rate. The results indicate that the system was able to maintain orientation errors within a range of 0.5° – 1.3° , with an average response time of less than one second. From the telemetry perspective, the data transmission success rate remained at 91% over a distance of 250 meters, despite an increase in communication delay as



the transmission range expanded. These findings demonstrate that orientation control and data communication can be effectively integrated into a single real-time operational system. The main contribution of this study lies in the integration of control and telemetry functions into a unified operational framework capable of supporting simultaneous monitoring and control requirements across various modern robotics and Internet of Things (IoT) applications.

Keywords: *Attitude Control System, Telemetry System, Closed-Loop Control, IMU Sensor, Robotics*

PENDAHULUAN

Perkembangan sistem cerdas pada era otomasi menghadirkan tuntutan baru terhadap kemampuan perangkat untuk mempertahankan performa yang stabil di tengah lingkungan operasional yang terus berubah. Pada robot bergerak, kendaraan otonom, maupun wahana tanpa awak, keberhasilan suatu sistem tidak hanya ditentukan oleh kemampuannya menjalankan perintah, tetapi juga oleh kapasitasnya menjaga orientasi dan posisi secara konsisten selama proses operasi berlangsung. Gangguan kecil pada sudut kemiringan atau arah gerak dapat memengaruhi kualitas navigasi, efisiensi kerja, bahkan keselamatan sistem secara keseluruhan. Situasi tersebut menjadikan pengendalian sikap sebagai bagian yang tidak terpisahkan dari pengembangan teknologi berbasis kecerdasan dan otomasi modern.

Bersamaan dengan meningkatnya pemanfaatan teknologi digital, kebutuhan terhadap pengelolaan data secara cepat dan berkelanjutan turut mengalami perubahan yang signifikan. Sistem yang sebelumnya bekerja secara lokal kini dituntut mampu beroperasi dalam lingkungan yang terhubung melalui jaringan komunikasi sehingga proses pemantauan dan pengendalian dapat dilakukan dari lokasi yang berbeda. Pada kendaraan otonom, kualitas keputusan yang dihasilkan sangat bergantung pada akurasi informasi yang diterima dari berbagai sensor. Rizal (2025) menunjukkan bahwa penerapan *sensor fusion* dan *Kalman Filter* mampu meningkatkan kualitas pengolahan data pada sistem kendali kendaraan listrik, sedangkan Tian dan Yang (2023) menegaskan bahwa kestabilan orientasi menjadi faktor yang menentukan keberhasilan pelacakan lintasan secara berkelanjutan. Dengan demikian, akurasi pengendalian dan keandalan pertukaran data berkembang menjadi dua kebutuhan yang saling berkaitan dalam sistem modern.

Peran komunikasi telemetri juga mengalami perluasan fungsi yang cukup signifikan. Jika sebelumnya telemetri lebih banyak dimanfaatkan sebagai media pengiriman informasi, pada perkembangan terkini sistem tersebut menjadi bagian dari mekanisme pengendalian yang mendukung pengambilan keputusan secara real-time. Muhammad (2025) memperlihatkan efektivitas komunikasi radio 433 MHz dalam mendukung transmisi data jarak jauh pada sistem pengukuran atmosfer, sedangkan Odo et al. (2025) menunjukkan bahwa integrasi komunikasi jarak jauh dan *Internet of Things (IoT)* memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara simultan pada berbagai lokasi yang berbeda. Pada konteks lain, Shrivastava et al. (2023) mengembangkan sistem kendali kendaraan pertanian berbasis radio telemetri yang mampu mendukung pelacakan posisi dan pengoperasian mesin secara nirkabel. Berbagai temuan tersebut memperlihatkan bahwa kualitas komunikasi memiliki pengaruh langsung terhadap efektivitas pengendalian sistem yang bekerja pada area luas dan dinamis.

Keterhubungan antara kestabilan orientasi dan komunikasi data menjadi semakin krusial pada pengembangan *Unmanned Aerial Vehicle (UAV)*. Sistem penerbangan tanpa awak memerlukan kemampuan menjaga arah gerak sekaligus mempertahankan konektivitas komunikasi selama menjalankan misi. Prasetyo et al. (2024) mencatat meningkatnya penggunaan UAV pada berbagai sektor strategis, mulai dari pemetaan wilayah hingga kegiatan



pengawasan. Sejalan dengan itu, Yusuf (2024) mengungkapkan bahwa pemanfaatan telemetri berbasis 4G LTE-A mampu meningkatkan efektivitas pemantauan data penerbangan dan evaluasi performa sistem kendali. Fenomena tersebut menunjukkan bahwa kualitas operasi kendaraan tanpa awak ditentukan oleh kemampuan berbagai subsistem untuk bekerja secara terpadu, bukan semata-mata oleh keunggulan salah satu komponennya.

Meskipun kemajuan teknologi sensor dan komunikasi berkembang dengan cepat, berbagai kendala teknis masih ditemukan pada implementasi nyata. Isura et al. (2022) menjelaskan bahwa tingkat akurasi *Inertial Measurement Unit* (IMU) dipengaruhi oleh konfigurasi pemasangan sensor, metode penyaringan sinyal, serta teknik pengolahan data yang digunakan. Pada sistem navigasi robot, Sulistiyanti et al. (2024) menemukan bahwa optimalisasi sensor kompas masih diperlukan untuk mengurangi kesalahan pembacaan arah dan meningkatkan kestabilan navigasi. Selain persoalan sensor, keterlambatan transmisi, interferensi sinyal, dan keterbatasan jangkauan komunikasi tetap menjadi tantangan yang memengaruhi reliabilitas sistem telemetri. Keberadaan berbagai faktor tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan performa sistem tidak dapat dicapai hanya melalui optimalisasi satu komponen secara terpisah.

Upaya integrasi teknologi berbasis *IoT* dan platform digital telah banyak dilakukan untuk meningkatkan efisiensi monitoring serta pengendalian sistem secara otomatis. Fauzi dan Amarudin (2025) menunjukkan bahwa integrasi teknologi web dan *IoT* mampu meningkatkan efektivitas proses monitoring pada sistem irigasi cerdas. Namun, sebagian besar penelitian yang tersedia masih menempatkan pengendalian orientasi, akurasi sensor, dan komunikasi data sebagai fokus kajian yang berdiri sendiri. Penelitian mengenai akurasi orientasi umumnya berfokus pada sensor dan algoritma pengolahan data, sedangkan kajian telemetri lebih banyak menyoroti kualitas transmisi informasi. Akibatnya, hubungan antara kestabilan kontrol, respons sistem, dan performa komunikasi dalam satu arsitektur terpadu masih belum banyak dievaluasi secara simultan. Ruang inilah yang kemudian membuka peluang pengembangan penelitian yang lebih komprehensif.

Dari perspektif teoritis, sistem yang mampu beradaptasi terhadap perubahan lingkungan memerlukan mekanisme *feedback* yang bekerja secara berkelanjutan untuk meminimalkan deviasi antara kondisi aktual dan kondisi yang diharapkan. Fitriyani (2025) menempatkan pemodelan matematis sebagai instrumen utama dalam memahami perilaku sistem dinamis, sedangkan konsep *closed-loop control* menyediakan kerangka operasional yang memungkinkan koreksi dilakukan secara otomatis berdasarkan data sensor yang diterima. Pada saat yang sama, kualitas pengendalian sangat dipengaruhi oleh ketepatan estimasi orientasi dan posisi yang diperoleh dari sensor. Alaba (2024) menunjukkan bahwa integrasi berbagai sumber data sensor mampu meningkatkan reliabilitas estimasi posisi pada sistem otonom, sementara Rahman dan Rangkuti (2023) menjelaskan bahwa proses penyaringan data berkontribusi terhadap pengurangan gangguan pengukuran yang dapat memengaruhi stabilitas pengendalian. Dalam konteks pengendalian sikap, Zhang et al. (2024) menegaskan bahwa kemampuan sistem mempertahankan orientasi selama proses pelacakan menjadi salah satu indikator utama kualitas performa kendali. Oleh karena itu, efektivitas sistem modern tidak hanya ditentukan oleh kemampuan setiap komponen bekerja secara individual, melainkan oleh keberhasilan integrasi sensor, aktuator, algoritma kendali, dan komunikasi data dalam satu arsitektur yang saling mendukung.

Berdasarkan berbagai perkembangan dan keterbatasan yang masih ditemukan pada penelitian sebelumnya, studi ini diarahkan pada pengembangan sistem kontrol sikap dan sistem telemetri pelacakan komando serta jarak yang bekerja dalam satu platform terintegrasi.





Kebaruan penelitian tidak hanya terletak pada penggabungan sensor orientasi dan komunikasi jarak jauh dalam satu rancangan sistem, tetapi juga pada evaluasi simultan terhadap akurasi orientasi, kecepatan respons, kestabilan transmisi data, dan keandalan operasional secara real-time. Pendekatan tersebut berbeda dari sebagian besar penelitian terdahulu yang cenderung mengevaluasi aspek pengendalian maupun komunikasi secara parsial. Melalui integrasi berbagai komponen dalam satu kerangka kerja yang saling terhubung, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi konseptual dan praktis bagi pengembangan teknologi robotika, navigasi, kendaraan tanpa awak, serta sistem otomasi yang memerlukan sinkronisasi antara fungsi kontrol dan komunikasi data.

METODE PENELITIAN

Pengembangan sistem dilakukan dengan menempatkan pengendalian sikap dan komunikasi telemetri sebagai satu kesatuan yang saling berinteraksi selama proses pengujian. Kegiatan diawali melalui observasi pada sistem pengendalian dan komunikasi data di pusat pengendali satelit PT. Telkom Cibinong untuk memperoleh gambaran mengenai kebutuhan operasional, pola pertukaran data, serta kendala yang berkaitan dengan kestabilan orientasi dan transmisi informasi. Temuan pada tahap awal tersebut digunakan sebagai dasar dalam menyusun arsitektur sistem yang menghubungkan sensor orientasi, aktuator, unit pengendali, dan modul komunikasi dalam satu lingkungan kerja terpadu. Setelah rancangan selesai disusun, seluruh komponen diintegrasikan pada perangkat bergerak berbasis mikrokontroler sehingga proses akuisisi data, pengambilan keputusan, dan pengiriman informasi dapat berlangsung secara *real-time* selama sistem beroperasi.

Kinerja sistem dievaluasi melalui serangkaian pengujian berulang pada berbagai kondisi operasional untuk mengamati respons pengendalian dan kualitas komunikasi yang dihasilkan. Sensor akselerometer dan giroskop digunakan untuk memperoleh data orientasi objek, sedangkan aktuator berfungsi mengeksekusi perintah koreksi yang dihasilkan pengontrol. Pada saat yang sama, modul radio telemetri mengirimkan data hasil pembacaan sensor dan status sistem menuju komputer pemantau yang berperan sebagai pusat pengolahan dan pencatatan data. Pengamatan difokuskan pada empat parameter utama, yaitu akurasi orientasi, waktu respons aktuator, keterlambatan transmisi (*delay*), dan kestabilan komunikasi data. Setiap perubahan kondisi sistem direkam secara langsung sehingga karakteristik perilaku pengendalian dan komunikasi dapat diamati secara menyeluruh.

Seluruh data yang diperoleh kemudian dikelompokkan berdasarkan jenis parameter pengujian untuk memudahkan proses evaluasi performa sistem. Akurasi orientasi ditentukan melalui perbandingan antara kondisi target dan hasil pembacaan sensor, sedangkan kualitas komunikasi dievaluasi menggunakan data keterlambatan transmisi serta keberhasilan pertukaran informasi selama pengujian berlangsung. Respons aktuator dianalisis berdasarkan kecepatan sistem dalam menyesuaikan posisi setelah menerima perintah kendali. Selanjutnya, seluruh hasil pengukuran dibandingkan antara kondisi awal dan kondisi setelah implementasi sistem terintegrasi guna mengidentifikasi perubahan performa yang terjadi. Analisis kuantitatif tersebut digunakan untuk menilai tingkat efektivitas sistem dalam meningkatkan stabilitas pengendalian, efisiensi komunikasi data, dan keandalan operasional secara keseluruhan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Implementasi sistem menunjukkan bahwa integrasi kontrol sikap dan telemetri mampu menjalankan fungsi pengendalian serta komunikasi data dalam satu lingkungan kerja yang

terhubung secara *real-time*. Sistem memanfaatkan sensor MPU6050 untuk memperoleh data orientasi, Arduino Uno sebagai unit pemrosesan, radio 433 MHz untuk komunikasi data, serta servo SG90 sebagai aktuator penggerak. Seluruh komponen dirancang agar mampu merespons perubahan posisi objek sekaligus mengirimkan informasi kondisi sistem ke pusat pemantauan secara berkelanjutan. Karakteristik perangkat yang digunakan selama pengembangan sistem disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat Sistem

No	Komponen	Fungsi	Spesifikasi
1	Sensor MPU6050	Deteksi orientasi	Akselerometer dan giroskop
2	Mikrokontroler	Pengolah data sistem	Arduino Uno
3	Modul Telemetri	Transmisi data	Radio 433 MHz
4	Aktuator Servo	Penggerak sistem	Servo Motor SG90
5	Komputer Monitoring	Pusat kendali data	Intel Core i5

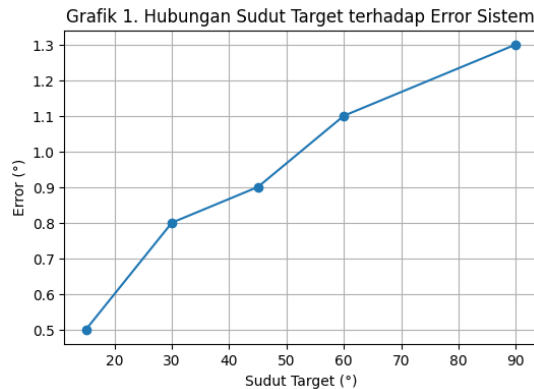
Sebagaimana terlihat pada Tabel 1, sistem dibangun melalui integrasi empat subsistem utama, yaitu akuisisi data, pemrosesan informasi, komunikasi, dan aktuasi. Kombinasi perangkat tersebut memungkinkan proses koreksi orientasi berlangsung secara otomatis bersamaan dengan pengiriman data ke pusat kendali. Integrasi ini menjadi fondasi utama dalam menjaga sinkronisasi antara fungsi pengendalian dan fungsi pemantauan yang menjadi fokus penelitian. Setelah proses integrasi selesai dilakukan, pengujian diarahkan untuk mengukur tingkat akurasi sistem dalam mempertahankan orientasi objek pada berbagai sudut target. Hasil pengukuran akurasi sistem kontrol sikap disajikan pada Tabel 2. Pengujian dilakukan dengan membandingkan sudut target yang diberikan dengan sudut aktual yang dibaca sistem pada lima variasi kondisi orientasi.

Tabel 2. Hasil Pengujian Akurasi Sistem Kontrol Sikap

Pengujian	Sudut Target	Sudut Aktual	Error
1	15°	14,5°	0,5°
2	30°	29,2°	0,8°
3	45°	44,1°	0,9°
4	60°	58,9°	1,1°
5	90°	88,7°	1,3°

Data pada Tabel 2 memperlihatkan bahwa seluruh pengujian menghasilkan tingkat kesalahan yang relatif rendah dengan rata-rata *error* sebesar 0,92°. Nilai penyimpangan terbesar muncul pada sudut 90° dengan *error* 1,3°, sedangkan penyimpangan terkecil terjadi pada sudut 15° sebesar 0,5°. Peningkatan *error* yang terjadi seiring bertambahnya sudut menunjukkan adanya akumulasi deviasi pembacaan sensor ketika rentang orientasi semakin besar. Meskipun demikian, seluruh nilai kesalahan masih berada pada kisaran yang rendah sehingga sistem tetap

mampu mempertahankan kestabilan orientasi selama pengujian berlangsung. Pola hubungan antara sudut target dan tingkat kesalahan pembacaan dapat diamati lebih jelas pada Gambar 1.



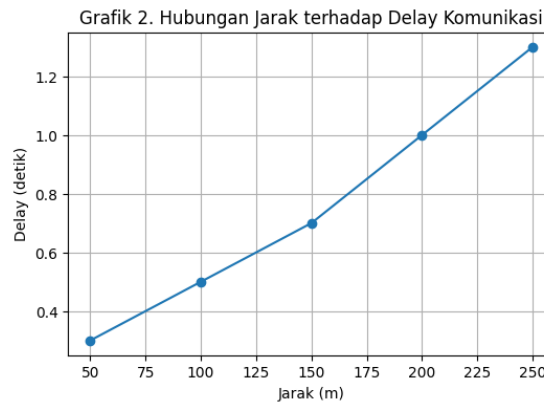
Gambar 1. Hubungan Sudut Target terhadap Error Sistem

Berdasarkan Gambar 1 terlihat bahwa kenaikan *error* berlangsung secara bertahap dan cenderung linier terhadap peningkatan sudut target. Tidak ditemukan lonjakan kesalahan yang signifikan pada rentang pengujian yang dilakukan, sehingga dapat diindikasikan bahwa mekanisme *closed-loop control* bekerja secara konsisten dalam menjaga kestabilan sistem. Karakteristik tersebut penting karena menunjukkan bahwa performa pengendalian tidak mengalami degradasi secara drastis ketika sistem dioperasikan pada orientasi yang lebih besar. Temuan ini memperkuat hasil pada Tabel 2 bahwa sistem masih mampu mempertahankan akurasi dengan tingkat penyimpangan yang relatif kecil. Selain aspek pengendalian orientasi, performa komunikasi data juga dievaluasi untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mempertahankan konektivitas pada berbagai jarak transmisi. Ringkasan hasil pengujian telemetri ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sistem Telemetri

Jarak	Delay Komunikasi	Keberhasilan Transmisi
50 m	0,3 detik	99%
100 m	0,5 detik	98%
150 m	0,7 detik	96%
200 m	1,0 detik	94%
250 m	1,3 detik	91%

Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, peningkatan jarak transmisi diikuti oleh kenaikan waktu *delay* dan penurunan persentase keberhasilan pengiriman data. Rata-rata *delay* komunikasi tercatat sebesar 0,76 detik dengan tingkat keberhasilan transmisi rata-rata mencapai 95,6%. Penurunan performa pada jarak yang lebih jauh merupakan konsekuensi dari melemahnya kualitas sinyal radio selama proses pengiriman data. Walaupun demikian, tingkat keberhasilan transmisi tetap berada di atas 90% pada seluruh pengujian sehingga komunikasi masih dapat berlangsung secara stabil. Hubungan antara jarak transmisi dan waktu *delay* ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan Jarak terhadap Delay Komunikasi

Gambar 2 memperlihatkan kecenderungan peningkatan *delay* yang hampir linier terhadap pertambahan jarak komunikasi. Pola tersebut mengindikasikan bahwa sistem memiliki karakteristik respons yang dapat diprediksi sehingga memudahkan proses evaluasi maupun pengembangan lebih lanjut. Walaupun waktu transmisi meningkat pada jarak yang lebih besar, nilainya masih berada dalam rentang yang dapat diterima untuk kebutuhan pemantauan dan pengendalian jarak menengah. Dengan demikian, modul radio yang digunakan masih mampu mendukung pertukaran data secara efektif selama proses pengoperasian berlangsung. Kemampuan sistem dalam merespons perubahan orientasi selanjutnya dievaluasi melalui pengukuran waktu respons aktuator. Hasil pengujian tersebut disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Waktu Respons Sistem

Percobaan	Waktu Respons
1	0,82 detik
2	0,79 detik
3	0,85 detik
4	0,81 detik
5	0,80 detik

Berdasarkan Tabel 4 diperoleh rata-rata waktu respons sebesar 0,81 detik dengan variasi pengukuran yang relatif kecil antarpercobaan. Konsistensi tersebut menunjukkan bahwa koordinasi antara sensor, mikrokontroler, dan aktuator berlangsung secara stabil selama pengujian dilakukan. Tidak adanya perbedaan waktu respons yang mencolok mengindikasikan bahwa sistem memiliki reliabilitas kerja yang baik dalam menghadapi perubahan kondisi orientasi. Jika hasil pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 dianalisis secara bersama, terlihat bahwa akurasi orientasi yang tinggi, keberhasilan transmisi di atas 90%, dan waktu respons di bawah satu detik membentuk performa sistem yang seimbang antara aspek pengendalian dan komunikasi. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem kontrol sikap dan telemetri yang dikembangkan telah memenuhi kebutuhan dasar pengendalian serta pemantauan objek secara *real-time* dengan tingkat kestabilan yang baik.



Pembahasan

Kinerja sistem yang diperoleh dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa keberhasilan pengendalian tidak semata-mata ditentukan oleh ketepatan sensor atau kecepatan aktuator secara individual, melainkan oleh kemampuan seluruh komponen untuk membentuk mekanisme koreksi yang berlangsung secara berkelanjutan. Nilai *error* orientasi yang tetap rendah pada berbagai variasi sudut menunjukkan bahwa sistem mampu menjaga keseimbangan antara proses pengukuran, pengambilan keputusan, dan eksekusi perintah dalam waktu yang relatif singkat. Pada kondisi seperti ini, fungsi *feedback* tidak hanya berperan sebagai sarana koreksi, tetapi juga menjadi mekanisme yang menjaga sistem tetap berada pada kondisi kerja yang diharapkan meskipun terjadi perubahan orientasi. Karakteristik tersebut memperkuat pandangan Cvitanic dan Melkote (2022) mengenai keunggulan sistem kontrol tertutup dalam mempertahankan stabilitas gerak dibandingkan pendekatan kontrol terbuka yang lebih bergantung pada kondisi awal sistem.

Menariknya, peningkatan *error* yang terjadi pada sudut yang lebih besar tidak menunjukkan pola degradasi performa yang signifikan. Fenomena ini mengindikasikan bahwa keterbatasan pengukuran yang muncul pada rentang orientasi tertentu masih dapat dikompensasi oleh proses pengendalian yang berlangsung secara adaptif. Dalam konteks sistem kontrol sikap, kondisi tersebut menjadi penting karena kestabilan orientasi tidak hanya berkaitan dengan ketepatan pembacaan sensor, tetapi juga kemampuan sistem mempertahankan arah gerak ketika menerima gangguan dari lingkungan operasional. Interpretasi ini memiliki keterkaitan dengan temuan Zhang et al. (2024) yang menempatkan kestabilan orientasi sebagai salah satu indikator utama kualitas performa sistem pelacakan. Namun demikian, penelitian ini memperlihatkan bahwa kestabilan tersebut dapat dicapai melalui integrasi antara pengukuran dan pengendalian secara simultan, bukan hanya melalui peningkatan akurasi sensor semata.

Kontribusi sensor akselerometer dan giroskop pada penelitian ini juga tidak dapat dipahami hanya dari kemampuan menghasilkan data orientasi. Kombinasi kedua sensor memungkinkan terbentuknya informasi gerak yang lebih konsisten sehingga sistem memiliki dasar yang lebih baik dalam menentukan tindakan korektif. Temuan ini memiliki kesamaan dengan hasil penelitian Alaba (2024) yang menunjukkan bahwa integrasi berbagai sumber data mampu meningkatkan reliabilitas estimasi posisi pada sistem otonom. Akan tetapi, fokus penelitian Alaba berada pada akurasi navigasi berbasis kombinasi GPS dan IMU, sedangkan penelitian ini memperlihatkan bagaimana informasi orientasi tersebut digunakan secara langsung dalam proses pengendalian sikap yang berlangsung secara *real-time*. Pada sisi lain, hasil yang diperoleh juga memperluas temuan Abidin (2024) karena peningkatan kestabilan tidak hanya terlihat pada kemampuan menjaga arah gerak, tetapi juga pada konsistensi respons sistem selama proses koreksi berlangsung.

Jika dicermati lebih jauh, keberhasilan sistem mempertahankan tingkat kesalahan yang relatif kecil menunjukkan bahwa proses penyaringan data dan pengurangan gangguan pengukuran memiliki peran yang tidak kalah penting dibandingkan perangkat keras yang digunakan. Data orientasi pada dasarnya rentan terhadap fluktuasi akibat getaran, perubahan posisi mendadak, maupun gangguan lingkungan. Oleh karena itu, kemampuan sistem dalam menghasilkan pembacaan yang tetap stabil mengindikasikan bahwa mekanisme pengolahan data bekerja secara efektif. Penafsiran ini mendukung argumentasi Rahman dan Rangkuti (2023) mengenai pentingnya proses penyaringan data dalam mengurangi *noise* dan meningkatkan kualitas informasi yang digunakan oleh sistem kendali. Dengan kata lain, akurasi



yang dicapai dalam penelitian ini merupakan hasil interaksi antara kualitas sensor dan efektivitas pengolahan data, bukan akibat dominasi salah satu komponen saja.

Pada aspek komunikasi, perubahan nilai *delay* yang meningkat seiring bertambahnya jarak transmisi memperlihatkan karakteristik yang lazim ditemukan pada sistem nirkabel. Meskipun terjadi penurunan performa pada jarak yang lebih jauh, tingkat keberhasilan transmisi yang tetap berada di atas 90% menunjukkan bahwa sistem masih mampu mempertahankan kontinuitas pertukaran data. Temuan ini memiliki kedekatan dengan hasil penelitian Sa'adah et al. (2024) yang menekankan pengaruh kondisi lingkungan dan kualitas sinyal terhadap performa komunikasi jarak jauh. Akan tetapi, pada penelitian ini dampak peningkatan *delay* tidak secara langsung menurunkan kemampuan sistem dalam menjalankan fungsi pengendalian, karena proses koreksi orientasi tetap dapat berlangsung selama data yang dibutuhkan masih berhasil diterima oleh pusat kendali.

Hubungan antara kualitas komunikasi dan performa sistem menjadi semakin menarik ketika dikaitkan dengan faktor eksternal yang memengaruhi transmisi data. Gangguan frekuensi, interferensi sinyal, maupun perubahan kondisi lingkungan dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman informasi yang pada akhirnya memengaruhi kualitas pemantauan. Penjelasan tersebut memiliki kesesuaian dengan uraian Harefa dan Mendrofa (2025) mengenai pengaruh gangguan sinyal terhadap performa sistem komunikasi. Di sisi lain, Zhang et al. (2025) mengingatkan bahwa peningkatan *delay* berpotensi menimbulkan tantangan baru pada sistem telemetri yang membutuhkan pengambilan keputusan secara cepat. Berbeda dengan konteks tersebut, penelitian ini menunjukkan bahwa keterlambatan yang terjadi masih berada pada rentang yang memungkinkan sistem mempertahankan fungsi pengendalian dan pemantauan secara bersamaan.

Lebih jauh lagi, nilai penting penelitian ini tidak hanya terletak pada kemampuan menghasilkan akurasi orientasi atau keberhasilan transmisi yang tinggi secara terpisah. Kontribusi utamanya justru muncul dari keterhubungan kedua fungsi tersebut dalam satu arsitektur kerja yang sama. Sebagian penelitian sebelumnya cenderung berfokus pada peningkatan kualitas pengendalian atau optimasi komunikasi sebagai dua ranah yang berdiri sendiri. Sebaliknya, hasil yang diperoleh memperlihatkan bahwa stabilitas orientasi, respons aktuator, dan kualitas telemetri saling memengaruhi dalam membentuk performa sistem secara keseluruhan. Perspektif ini sejalan dengan Piltyay et al. (2024) yang menempatkan komunikasi nirkabel sebagai bagian penting dalam operasional UAV modern, serta didukung oleh pandangan Indrawan et al. (2026) mengenai pentingnya sinkronisasi antara sensor, kontrol, dan komunikasi dalam sistem robotika berbasis ROS.

Implikasi yang lebih luas dapat dilihat pada peluang penerapan sistem untuk kebutuhan pemantauan dan pengendalian berbasis *Internet of Things (IoT)*. Tingginya keberhasilan transmisi data menunjukkan bahwa sistem tidak hanya relevan untuk kendaraan otonom atau robot bergerak, tetapi juga berpotensi digunakan pada berbagai platform yang membutuhkan pertukaran informasi secara berkelanjutan. Hasil ini memiliki keterkaitan dengan temuan Brilliant et al. (2026) mengenai efektivitas komunikasi data *real-time* pada sistem berbasis ESP32 dan MQTT, serta memperluas manfaat telemetri sebagaimana dijelaskan oleh Sari (2024) pada sistem monitoring berbasis sensor. Dengan demikian, kontribusi penelitian ini tidak berhenti pada pengembangan perangkat pengendalian semata, melainkan menawarkan pendekatan integratif yang menghubungkan fungsi kendali, komunikasi, dan pemantauan dalam satu kerangka operasional yang adaptif terhadap kebutuhan teknologi modern.



KESIMPULAN

Penelitian ini memperlihatkan bahwa efektivitas pengendalian dan komunikasi data tidak perlu diposisikan sebagai dua fungsi yang berdiri sendiri, melainkan dapat diintegrasikan dalam satu sistem yang bekerja secara saling mendukung. Integrasi antara kontrol sikap dan telemetri memungkinkan proses koreksi orientasi serta pertukaran informasi berlangsung secara bersamaan tanpa mengurangi kestabilan operasional sistem. Temuan tersebut mengindikasikan bahwa keberhasilan pengendalian pada sistem bergerak tidak hanya ditentukan oleh ketepatan sensor atau kecepatan aktuator, tetapi juga oleh kemampuan seluruh komponen dalam membentuk mekanisme kerja yang terkoordinasi dan responsif terhadap perubahan kondisi. Dalam konteks pengembangan teknologi modern, hasil penelitian ini memperkuat pandangan bahwa sinkronisasi antara fungsi kendali dan komunikasi merupakan faktor penting dalam membangun sistem yang adaptif, andal, dan mampu beroperasi secara *real-time*.

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada penyatuan sistem kontrol sikap dan telemetri pelacakan komando serta jarak ke dalam satu arsitektur operasional yang terintegrasi, suatu pendekatan yang masih relatif jarang dikaji secara menyeluruh pada penelitian sebelumnya. Melalui pendekatan tersebut, penelitian tidak hanya menghasilkan solusi teknis untuk meningkatkan kualitas pengendalian dan pemantauan, tetapi juga menawarkan perspektif bahwa stabilitas orientasi, respons sistem, dan kontinuitas komunikasi merupakan elemen yang saling berkaitan dalam menentukan performa keseluruhan. Potensi penerapannya terbuka luas pada berbagai bidang, mulai dari robotika, kendaraan tanpa awak, hingga ekosistem *Internet of Things (IoT)* yang membutuhkan kemampuan pemantauan dan pengendalian secara berkelanjutan. Pengembangan selanjutnya dapat diarahkan pada pemanfaatan algoritma kendali yang lebih adaptif, peningkatan presisi sensor, serta optimalisasi teknologi komunikasi agar sistem tetap mampu mempertahankan performa yang konsisten pada lingkungan operasional yang lebih kompleks dan skala implementasi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, S. (2024). *Optimalisasi gerak lurus dengan sensor IMU pada robot kursi beroda = Optimization of straight motion with IMU sensor on wheelchair robot* (Doctoral dissertation, Universitas Hasanuddin). <https://repository.unhas.ac.id/id/eprint/41476/>
- Alaba, S. Y. (2024). GPS-IMU sensor fusion for reliable autonomous vehicle position estimation. *arXiv Preprint arXiv:2405.08119*. <https://arxiv.org/abs/2405.08119>
- Brilliant, B., Rahmadani, F., Firmansyah, M. I., Saputra, M. R. T., Frey, N. C., Sopyan, R. I., & Rahman, A. (2026). Evaluasi kinerja sistem IoT berbasis ESP32 dan MQTT untuk pemantauan kelembapan ruangan. *MDP Student Conference*, 5(2), 995–1001. <https://jurnal.mdp.ac.id/index.php/msc/article/view/15226>
- Cvitanic, T., & Melkote, S. N. (2022). A new method for closed-loop stability prediction in industrial robots. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 73, 102218. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0736584521001010>
- Fauzi, F., & Amarudin, A. (2025). Integrasi internet of things dan web untuk monitoring kendali irigasi tates secara real time: Internet of things and web integration for real-time monitoring and control of tates irrigation. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(4), 1481–1489. <https://journal.irpi.or.id/index.php/malcom/article/view/2298>
- Fitriyani, S. (2025). *Matematika dalam kontrol dan sistem teknik. Matematika dalam Fisika dan Teknik*, 109.



- Harefa, D. A., & Mendrofa, A. (2025). Analisis efek Doppler dalam sistem radar dan telekomunikasi. *Jurnal Ilmu Ekonomi, Pendidikan dan Teknik*, 2(3), 45–51. <https://doi.org/10.70134/identik.v1i2.115>
- Indrawan, R. W., Tambunan, I. H., Akil, I. M., Hamuda, H., Novianto, I., & others. (2026). *Sistem robotika: Dari mekanika hingga ROS*. PT Bukuloka Literasi Bangsa.
- Isura, D., Fitriyah, H., & Primananda, R. (2022). Analisa akurasi dari pendeteksian berjalan pada variasi peletakan sensor IMU, filter Kalman dan FIR, serta klasifikasi KNN dan Naive Bayes. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(1), 275–281. <https://j-ptiik.ub.ac.id/index.php/j-ptiik/article/view/10463>
- Muhammad, R. (2025). *Rancang bangun dan implementasi modul radio telemetri pada aerial measurement eddy covariance system (AMES) dengan band frekuensi 433 MHz*. <https://digilib.unila.ac.id/91900/>
- Odo, D., Marpaung, J., & Yacoub, R. R. (2025). Rancang bangun sistem telemetri parameter multi lokasi panel surya berbasis komunikasi jarak jauh dan IoT. *Elkom: Jurnal Elektronika dan Komputer*, 18(2), 325–331. <https://doi.org/10.51903/elkom.v18i2.3356>
- Piltyay, S., Bulashenko, A., Shkinder, A., Potapenko, V., Kuprianchuk, A., & Levkov, N. (2024). Wireless telemetry and antenna system features in modern UAV designs. In *2024 IEEE 17th International Conference on Advanced Trends in Radioelectronics, Telecommunications and Computer Engineering (TCSET)* (pp. 1–4). IEEE. <https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/10755910>
- Prasetyo, Y. E., Hilman, Y. A., Nasution, R. D., & Harsono, J. (2024). Implementasi kebijakan pesawat tanpa awak di Ponorogo. *VILLAGE: Journal Rural Development and Government Studies*, 3(2), 77–83. <http://journal.umpo.ac.id/index.php/village/article/view/5871>
- Rahman, I. A., & Rangkuti, S. (2023). Rancang bangun antena rotasi dengan kalibrasi berbasis program Kalman filter. *Jurnal Sistem Cerdas*, 6(3), 204–212. <https://doi.org/10.37396/jsc.v6i3.333>
- Rizal, A. (2025). Sistem kendali otonom pada kendaraan listrik menggunakan sensor fusion dan Kalman filter. *Journal of Engineering and Technological Science*, 1(2), 68–74. <https://ejournal.kalibra.or.id/index.php/jets/article/view/134>
- Sa'adah, N., Pratiarso, A., Nadziroh, F., Muna, N., Astawa, I. G. P., Santoso, T. B., & Yulianto, S. S. (2024). Analisa performansi komunikasi LoRa (long range) pada sistem monitoring buoy di laut. *The Indonesian Journal of Computer Science*, 13(6). <https://doi.org/10.33022/ijcs.v13i6.4462>
- Sari, B. E. (2024). Implementasi pangkalan data pasang surut air terintegrasi sensor preasure dengan teknologi telemetri. *Jurnal Teknologi Informasi dan Digital*, 2(2), 53–61. <https://banisalehjurnal.ubs.ac.id/index.php/tridi/id/article/view/51>
- Shrivastava, P., Tewari, V. K., Gupta, C., & Singh, G. (2023). IoT and radio telemetry based wireless engine control and real-time position tracking system for an agricultural tractor. *Discover Internet of Things*, 3(1), 6. <https://link.springer.com/article/10.1007/s43926-023-00035-4>
- Sulistiyanti, S. R., Purwiyanti, S., Setyawan, F. A., Alam, S., & Lukita, J. (2024). Optimasi sensor kompas HMC5883L pada sistem navigasi robot pemupuk otomatis. In *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Teknik dan Aplikasi Industri Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 7. <https://sinta.eng.unila.ac.id/prosiding/index.php/ojs/article/view/132>



- Tian, J., & Yang, M. (2023). Research on trajectory tracking and body attitude control of autonomous ground vehicle based on differential steering. *PLOS ONE*, 18(2), e0273255. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0273255>
- Yusuf, R. S. A. (2024). *Analisis data flight controller dan syslog Ardupilot Mission Planner dengan telemetri berbasis 4G LTE-A pada UAV fixed wings*. <https://digilib.unila.ac.id/85284/>
- Zhang, Y., Yang, L., Cheng, Y., & Ying, K. (2024). A performance evaluation approach for satellite attitude control system in tracking mode. *Applied Sciences*, 14(7), 2867. <https://doi.org/10.3390/app14072867>
- Zhang, Z., Manikkan, S., Krishnan, M., Azimi, M., Vaccino, L., Wang, J., ... Parsons, P. (2025). Managing delay-induced challenges in remote monitoring of uncrewed space habitats: The impact of forecasting telemetry visualizations. *Acta Astronautica*. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2025.12.036>