Jurnal Fakultas Teknik
Universitas Muhamadiyah Parepare
Vol. xx No. xx, Bulan 20xx

SISTEM INSTRUMENTASI KEMIRINGAN MENGGUNAKAN ACCELEROMETER DAN GYROSCOPE TERINTEGRASI

Fajrullah Hatta[1*], A. Irmayani Pawelloi[2], Alauddin Y.[3]

[1]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia
[2]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia
[3]Program Studi Teknik Elektro, Universitas Muhammadiyah Parepare, Indonesia
**Email : penulispertama@email.com*

Abstract: The advancement of navigation systems, robotics, and structural monitoring technologies has increased the demand for accurate, responsive, and reliable tilt measurement instruments. Although accelerometers and gyroscopes are the primary sensors used in tilt detection, each has inherent limitations: accelerometers are susceptible to noise and mechanical vibrations, while gyroscopes suffer from drift over time. Without effective integration, angular measurements become unstable and unreliable. Therefore, an efficient sensor fusion algorithm is required to combine the strengths of both sensors and minimize measurement errors. This research aims to design an integration method and signal processing algorithm based on the complementary filter to produce accurate and stable angle readings, as well as to develop a data acquisition system and user interface capable of converting raw sensor data into precise, rapid, and easily interpretable tilt information. The methodology employs an experimental approach consisting of system design (hardware and software), prototype implementation, performance testing, and data analysis, using a prototyping development model as the framework. The system is built using an MPU6050 sensor, Arduino Nano, 16x2 I2C LCD, and a buzzer, with power optimization achieved through an 18650 battery. The test results indicate that the system provides angle measurements close to the reference values, with an average error of 0.33° across the 0°–90° range. The system also successfully displays tilt information in real-time with directional indicators (using symbols ^, v, >, <) and audio feedback when the device is in a stable position. Therefore, this instrument is proven to be accurate, responsive, and user-friendly and suitable for use in educational applications, robot balancing, or simple structure monitoring.

Keywords: : sensor fusion, MPU6050, Arduino Nano, tilt angle, data acquisition system

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi sensor dan sistem embedded telah mendorong kebutuhan akan instrumen pengukur kemiringan yang akurat, responsif, dan mudah diinterpretasi dalam berbagai aplikasi modern. Kemiringan (*Pitch* dan *Roll)* merupakan parameter kritis dalam sistem navigasi, robotika, kendaraan otonom, drone, hingga pemantauan struktur seperti jembatan dan bangunan bertingkat. Dalam konteks ini, *accelerometer* dan gyroscope menjadi dua sensor utama yang digunakan untuk mendeteksi perubahan orientasi. *Accelerometer* mengukur komponen percepatan gravitasi untuk menentukan orientasi statis, namun rentan terhadap noise dan gangguan getaran. Sebaliknya, *gyroscope* mampu mendeteksi perubahan sudut secara dinamis, tetapi mengalami drift

(penumpukan error) seiring waktu, sehingga tidak dapat diandalkan untuk pengukuran jangka panjang.

Untuk mengatasi keterbatasan masing-masing sensor, diperlukan metode integrasi dan algoritma pemrosesan yang efektif, dikenal sebagai sensor fusion. Pendekatan seperti *Complementary Filter* atau *Kalman Filter* memungkinkan penggabungan data dari kedua sensor secara optimal: *accelerometer* digunakan untuk koreksi jangka panjang, sementara *gyroscope* memberikan respons cepat terhadap perubahan sudut. Dengan demikian, sistem dapat menghasilkan pembacaan sudut yang lebih stabil dan akurat. Namun, pada sistem berbasis mikrokontroler sederhana seperti Arduino, implementasi algoritma ini sering dibatasi oleh keterbatasan daya komputasi dan memori, sehingga diperlukan solusi yang efisien tanpa mengorbankan akurasi.

Di sisi lain, hasil pengukuran dari sensor mentah belum cukup bermakna tanpa sistem akuisisi data dan antarmuka yang mampu mengonversi data tersebut menjadi informasi yang presisi, cepat, dan mudah dibaca oleh pengguna. Banyak sistem saat ini hanya menampilkan data mentah atau nilai sudut tanpa indikasi visual atau notifikasi yang intuitif, sehingga menyulitkan interpretasi, terutama dalam kondisi lapangan. Oleh karena itu, penting untuk mengembangkan sistem akuisisi data yang terintegrasi dengan antarmuka pengguna yang interaktif, seperti layar LCD, indikator arah, dan notifikasi suara, agar informasi kemiringan dapat dipahami secara langsung tanpa perlu analisis lanjutan.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan akan solusi instrumen kemiringan berbiaya rendah, akurat, dan ramah pengguna, yang dapat diimplementasikan dalam pendidikan, prototipe robot, atau sistem monitoring sederhana. Dengan memanfaatkan mikrokontroler *Arduino Nano* dan sensor MPU6050, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem yang tidak hanya mampu menghasilkan pembacaan sudut yang akurat melalui algoritma fusi sensor, tetapi juga menyajikannya dalam bentuk yang mudah diakses dan diinterpretasi. Hal ini menjadi penting dalam konteks penerapan teknologi di lingkungan non-industri, di mana keterbatasan sumber daya dan keahlian teknis menjadi faktor utama.

Tujuan dari penelitian ini untuk menghasilkan alat ukur kemiringan pada bidang datar dengan menampilkan sudut pitch dan roll

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental dengan tahapan adalah Perancangan sistem (hardware dan software), Pengujian performa sistem, dan Analisis data hasil pengujian. Desain penelitian mengadopsi model prototyping development dengan iterasi perbaikan berdasarkan hasil pengujian. Fokus utama penelitian pada Integrasi sensor MPU-6050 dengan Arduino Nano, Pengembangan algoritma sensor fusion, dan optimasi konsumsi daya untuk sistem portable.

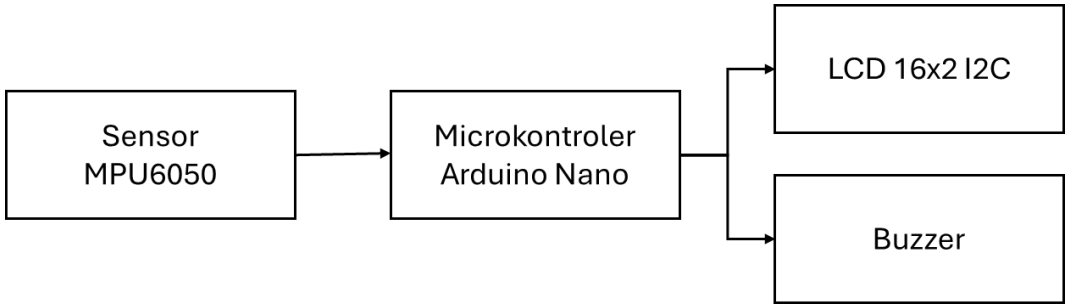
Penelitian dilaksanakan selama kurang lebih 3 bulan. Lokasi penelitian dilakukan di 2 lokasi yaitu Workshop pribadi (untuk assembly hardware), dan Lapangan terbuka (untuk pengujian dinamik).

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Pengujian Sensor Ultrasonik

No	Komponen	Spesifikasi	Qty
1	Arduino Nano	ATmega328P, 16MHz	1
2	MPU-6050	Gy-521 Accelerometer + Gyro 3-axis	1
3	Baterai 18650	3.7V 1200mAh	2
4	Modul Charger	TP4056	1
5	LCD 16x2	I2C Backpack	1
6	Buzzer	Passive Buzzer 5V	1
7	Kabel Jumper	Male-Male	20

Berikut blok diagram dan flowchart Sistem Instrumentasi Kemiringan menggunakan Accelerometer Dan Gyroscope Terintegrasi.



Gambar 1. Diagram blok sistem kerja

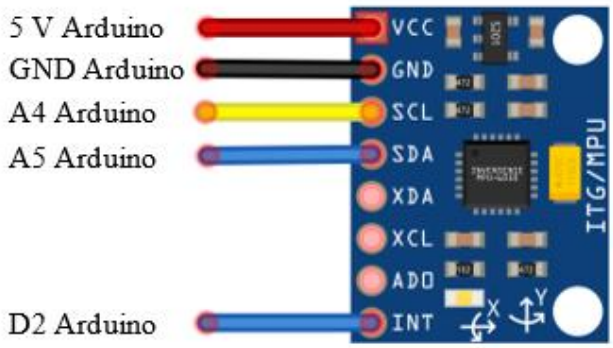
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras merupakan tahap penting dalam pengembangan sistem instrumen kemiringan. Sistem dirancang untuk bekerja secara akurat, stabil, dan efisien dalam konsumsi daya. Komponen-komponen yang digunakan dipilih berdasarkan kriteria: akurasi, kompatibilitas, ketersediaan, dan biaya yang terjangkau. Secara keseluruhan, perangkat keras terdiri dari empat subsistem utama sebagai berikut:

a. Unit Pendeteksi Kemiringan (Sensor MPU6050)

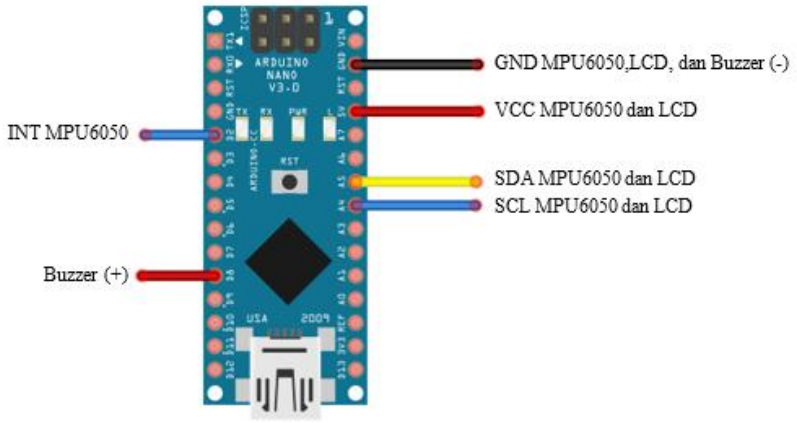
Sistem pendeteksi kemiringan merupakan inti dari instrumen ini, yang bertugas mengukur sudut kemiringan (Pitch dan Roll) secara real-time. Komponen utama yang digunakan adalah sensor MPU6050, yang terintegrasi dengan mikrokontroler Arduino Nano melalui protokol komunikasi I2C. Rangkaian ini dirancang untuk memberikan pembacaan yang akurat, responsif, dan stabil terhadap perubahan orientasi. Sensor ini mengintegrasikan Akselerometer 3 sumbu dan Giroskop 3 sumbu.



Gambar 2. Rangkaian Pendeteksi Kemiringan

b. Unit Pengolahan Data (*Arduino Nano*)

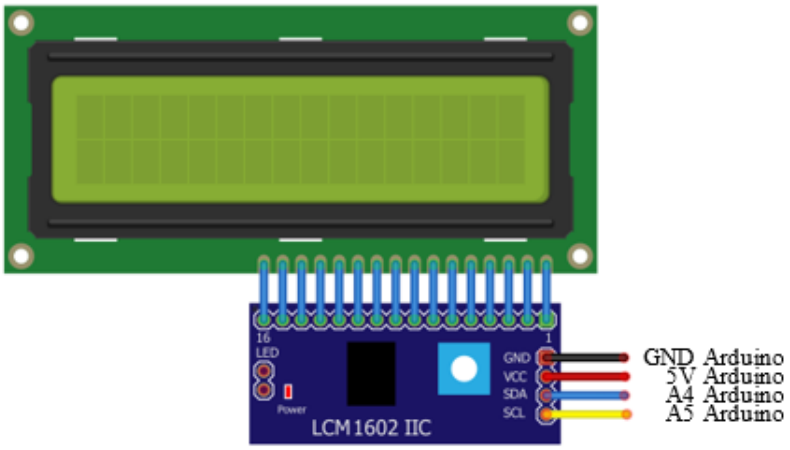
Unit pengolahan data merupakan pusat kendali sistem yang bertugas memproses data mentah dari sensor MPU6050 dan menghasilkan informasi sudut kemiringan yang akurat. Komponen utama yang digunakan adalah mikrokontroler Arduino Nano, yang terhubung dengan MPU6050 melalui protokol komunikasi I2C. Arduino Nano berperan sebagai pemroses utama yang menjalankan algoritma fusi sensor untuk menggabungkan data dari accelerometer dan gyroscope secara real-time. Proses ini dilakukan menggunakan metode complementary filter yang memanfaatkan kelebihan masing-masing sensor



Gambar 3. Rangkaian Unit Pengolahan Data

c. Unit Tampilan (LCD 16x2 I2C)

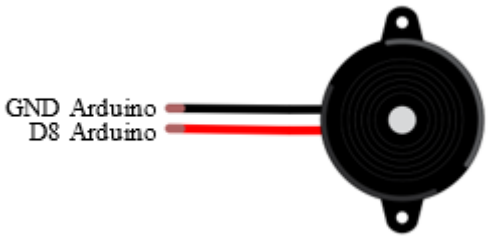
Unit tampilan berfungsi sebagai antarmuka pengguna yang menyajikan informasi hasil pengukuran sudut kemiringan secara visual. Komponen utama yang digunakan adalah LCD (Liquid Crystal Display) 16x2 berantarmuka I2C, yang terhubung dengan mikrokontroler Arduino Nano melalui protokol komunikasi I2C, sehingga hanya memerlukan dua jalur data (SDA dan SCL) dan meminimalkan penggunaan pin pada mikrokontroler. LCD ini berperan sebagai media output utama yang menampilkan nilai sudut Pitch dan Roll secara real-time, serta status sistem seperti indikasi arah miring dan posisi stabil.



Gambar 4. Rangkaian Unit Tampilan

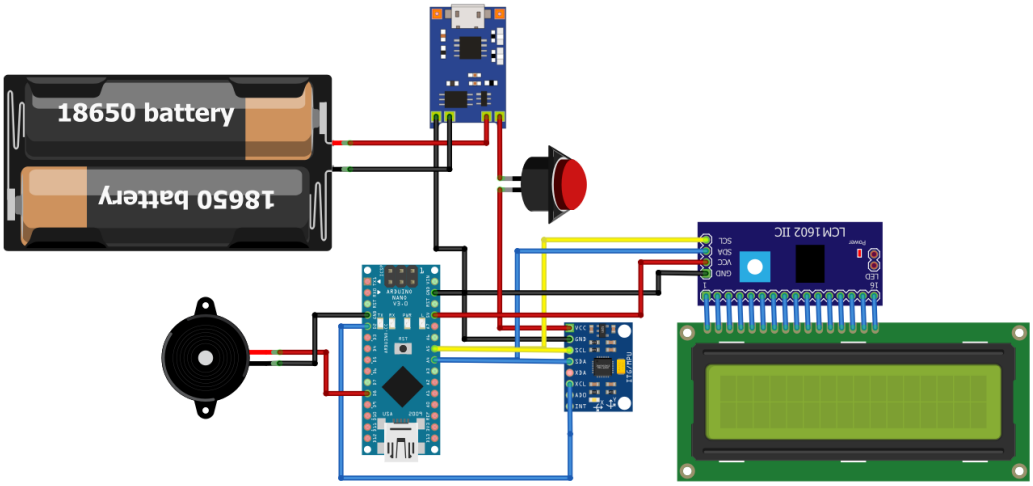
d. Unit Notifikasi (Buzzer Aktif)

Unit notifikasi berfungsi sebagai media audio yang memberikan informasi kondisi sistem secara non-visual. Komponen utama yang digunakan adalah buzzer aktif yang dihubungkan ke pin digital mikrokontroler Arduino Nano. Buzzer dikontrol secara langsung oleh Arduino. Integrasi buzzer dalam sistem meningkatkan interaktivitas dan keandalan antarmuka, terutama dalam lingkungan dengan keterbatasan akses visual atau sebagai penanda penting selama penggunaan.



Gambar 5. Rangkaian Unit Notifikasi

Berikut adalah rangkaian sistem keseluruhan dari instrumen kemiringan menggunakan *Accelerometer* dan *Gyroscope*

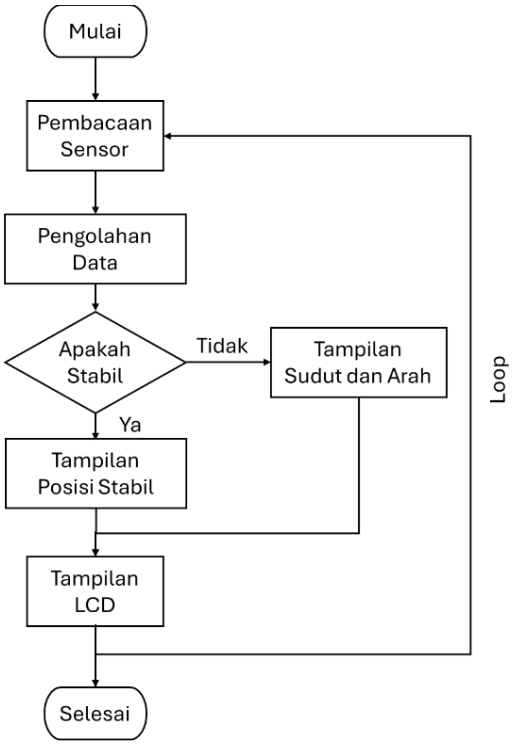


Gambar 6. Rangkaian Sistem Keseluruhan

3.2. Perancangan Perangkat Lunak

Perangkat lunak merupakan komponen inti dalam sistem instrumen kemiringan yang bertugas mengakuisisi data dari sensor MPU6050, memproses sudut kemiringan (Pitch dan Roll), menampilkan hasil pada LCD 16x2 I2C, serta memberikan notifikasi suara melalui buzzer. Sistem dikembangkan menggunakan *Arduino IDE* dengan bahasa pemrograman berbasis C/C++ dan memanfaatkan library pihak ketiga untuk mempermudah integrasi perangkat keras. Perangkat lunak dirancang secara modular, efisien, dan responsif, dengan antarmuka yang interaktif dan mudah dipahami oleh pengguna.

Alur kerja sistem instrumen kemiringan dimulai dari proses inisialisasi saat perangkat dinyalakan. Pada tahap awal, mikrokontroler Arduino Nano melakukan pengaturan terhadap seluruh komponen perangkat keras yang terhubung, meliputi sensor MPU6050, layar LCD 16x2 berantarmuka I2C, serta buzzer sebagai notifikasi suara. Setelah sistem siap, sistem memasuki loop utama yang berjalan secara terus-menerus selama perangkat menyala. Di dalam loop ini, sensor MPU6050 secara berkala membaca data percepatan dan kecepatan sudut, kemudian menghitung sudut kemiringan pada sumbu Pitch (depan-belakang) dan Roll (kiri-kanan). Nilai sudut yang diperoleh kemudian dikoreksi dengan faktor offset kalibrasi yang telah ditentukan sebelumnya untuk meningkatkan akurasi. Sistem kemudian mengevaluasi apakah posisi alat berada dalam keadaan stabil, yaitu ketika kedua sudut mendekati nol derajat (dengan toleransi ±1°). Diagram alir sistem kerja di tunjukkan pada gambar 7.

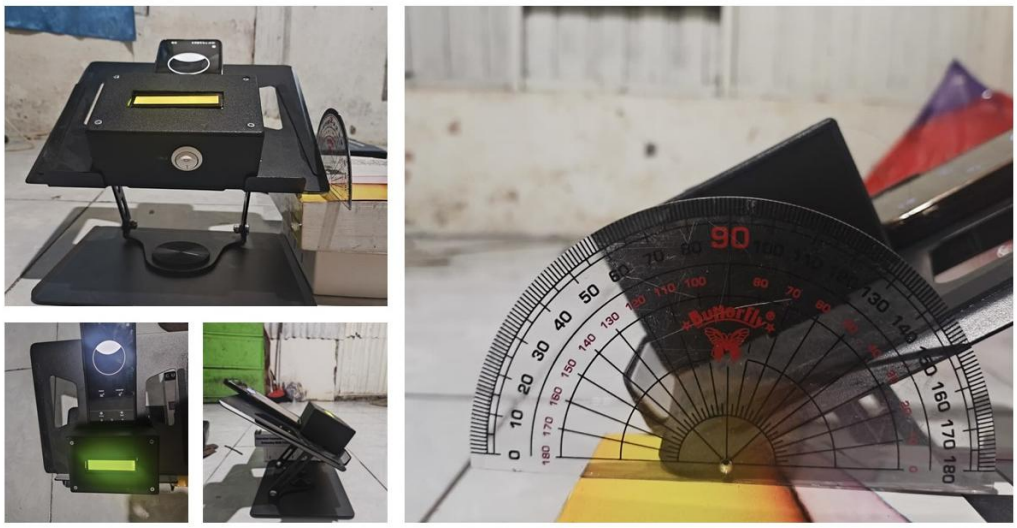


Gambar 7. *Flowchart* Instrumen Kemiringan

3.3. Pengujian Komparatif (Alat vs Smartphone)

Pengujian alat dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan konsistensi instrumen kemiringan berbasis Arduino Nano dan MPU6050 dalam mengukur sudut Pitch (kemiringan depan-belakang) dan Roll (kemiringan kiri-kanan). Untuk memastikan validitas hasil pengujian, digunakan smartphone Android yang dilengkapi sensor accelerometer internal sebagai alat pembanding. Smartphone dipilih karena sensor inertialnya telah dikalibrasi pabrik, memiliki resolusi tinggi, dan mampu menampilkan data sudut secara real-time melalui aplikasi pihak ketiga seperti *Physics Toolbox Sensor Suite, Sensor Kinetics,* atau *AndroSensor.*

Pengujian alat dilakukan dengan memposisikan instrumen kemiringan dan smartphone secara berdampingan pada sebuah holder laptop yang dapat diatur kemiringannya, guna memastikan kedua perangkat mengalami orientasi yang identik. Holder tersebut digunakan sebagai platform penyangga yang stabil dan dapat disesuaikan sudutnya sesuai kebutuhan pengujian. Sebelum pengujian, sudut kemiringan holder diukur menggunakan busur derajat untuk memastikan ketepatan posisi, sehingga hasil pembacaan dari alat dan smartphone dapat dibandingkan secara akurat. Instrumen kemiringan dan smartphone ditempatkan rata di atas holder, dengan layar LCD dan aplikasi sensor pada smartphone menampilkan data secara real-time.



Gambar 8. Ilustrasi Pengujian Alat vs Smartphone

Hasil pengujian menunjukkan bahwa instrumen kemiringan berbasis MPU6050 memberikan respons yang stabil dan akurat pada berbagai posisi kemiringan. Pada posisi datar (0°), alat berhasil mendeteksi bahwa sudut Pitch dan Roll berada dalam rentang toleransi ±1°, sehingga menampilkan pesan "Posisi Stabil!" dan mengaktifkan notifikasi suara, sesuai dengan desain sistem. Semakin besar sudut kemiringan, pembacaan alat tetap konsisten dengan nilai referensi, meskipun terjadi sedikit deviasi yang cenderung meningkat pada sudut ekstrem (di atas 45°), namun masih berada dalam batas toleransi akurasi. sistem mencatat nilai akurasi sebesar 99,63%, yang menunjukkan bahwa kesalahan rata-rata hanya sekitar 0,33° dari nilai sebenarnya, yang menunjukkan bahwa sistem memiliki akurasi tinggi sebesar dan reliabilitas baik untuk aplikasi non-industri seperti pendidikan, prototipe robot balancing, atau sistem monitoring kemiringan sederhana.

Tabel 2. Hasil Pengujian Alat vs Smartphone

Sudut Sebenarnya (°)	**Pembacaan Alat (°)**	**Pembacaan Smartphone (°)**	**Selisih (Error) (°)**
0	0	0	0
15	15	15	0.0
30	30	30	0.0
45	45	46	1.0
60	59	60	1.0
90	89	89	0.0
Rata-rata Selisih (Error) (°)			0.33

3.4. Validasi Sudut Kemiringan Berbasis Pengukuran Geometri

Untuk memastikan keandalan dan akurasi instrumen kemiringan yang dikembangkan, validasi tidak hanya dilakukan melalui perbandingan dengan alat digital (smartphone), tetapi juga dengan metode geometri fisik yang bersifat manual dan independen. Pendekatan ini sangat penting dalam konteks rekayasa elektro, karena membuktikan bahwa pembacaan sensor tidak hanya akurat secara empiris, tetapi juga konsisten dengan prinsip matematika dan fisika dasar.

Metode yang digunakan adalah pengukuran langsung terhadap dimensi fisik bidang miring, yaitu ketinggian (h) dan panjang alas (b) dari sebuah papan yang dimiringkan. Dengan membentuk segitiga siku-siku, sudut kemiringan dapat dihitung secara manual menggunakan fungsi trigonometri:

$$\theta = arctan(\frac{alas}{tinggi}) = arctan(\frac{b}{h})$$

di mana:

h : ketinggian ujung papan dari permukaan datar (cm)

b : jarak horizontal dari pangkal ke proyeksi ujung papan (cm)

Pengukuran sudut kemiringan secara manual dilakukan dengan menggunakan sebuah papan datar dengan panjang tetap 30 cm, yang berfungsi sebagai bidang miring. Papan ini ditempatkan sedemikian rupa sehingga salah satu ujungnya berada pada permukaan datar (lantai atau meja), sementara ujung lainnya ditopang oleh benda dengan ketinggian yang bervariasi (seperti tumpukan buku atau blok kayu).

Tabel 3. Perbandingan Perhitungan Geometri vs Alat

Ketinggian (cm)	Panjang Alas (cm)	Sudut Geometri (°)	Pembacaan Alat (°)	Selisih Alat vs Geometri (°)
5.0	29.58	9.6	10	0.4
10.0	28.28	19.5	20	0.5
15.0	25.98	30.0	30	0.0
20.0	22.36	41.8	42	0.2
25.0	16.58	56.5	57	0.5
Rata-rata selisih (°)				0.32

Keseluruhan hasil menunjukkan bahwa instrumen kemiringan yang dikembangkan memberikan pembacaan yang sangat akurat dan dapat diandalkan. Dengan demikian, instrumen ini tidak hanya layak digunakan sebagai alat ukur praktis,

tetapi juga sebagai media pembelajaran yang kuat untuk memahami hubungan antara geometri, trigonometri, dan sensor inersia.

4. KESIMPULAN

Sistem sensor berbasis MPU6050 yang dikembangkan berhasil menggabungkan data accelerometer dan gyroscope melalui complementary filter, menghasilkan pembacaan sudut kemiringan (Pitch dan Roll) yang stabil, akurat (deviasi rata-rata 0,32°–0,33°, akurasi 99,63%), dan responsif bahkan dalam kondisi dinamis. Dilengkapi sistem akuisisi data berbasis Arduino Nano dan antarmuka pengguna interaktif (LCD 16x2, animasi, indikator arah, notifikasi suara), sistem ini mampu menyajikan informasi kemiringan secara real-time, intuitif, dan mudah dipahami tanpa keahlian teknis. Solusi ini efektif untuk aplikasi edukasi, robotika, dan monitoring struktur sederhana, menggabungkan presisi tinggi, kecepatan pemrosesan, dan kenyamanan pengguna dalam satu platform terintegrasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan Terima Kasih dibuat sebagai ungkapan terima kasih kepada pihak yang membantu dalam proses penelitian, penelaah naskah, atau penyedia dana penelitian

REFERENSI

Abdullah, S., Susanto, E., & Nsugraha, R. (2016). Rancang Bangun Kestabilan Laju Robot Kapal Selam Berbasis Mikrokontroler. eProceedings of Engineering, 3(1).

Alma'i, V. R., Wahyudi, W., & Setiawan, I. (2011). Aplikasi Sensor Accelerometer Pada Deteksi Posisi (Doctoral dissertation, Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik).

Arifin, Z. (2020). Metodologi Penelitian Sensor Accelerometer. Jurnal Al-Hikmah, 1(1).

Aqdam Tritunggal, F., Pradana, C., Rizqi, E., Hidayat et al., Pradani, K., Islam, U., Rahmat, R., & Korespondensi, P. (2023). Sistem Deteksi Gempa Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino dan Sensor Accelerometer MPU6050. Journal of Mechanical and Electrical Technology, 2(2).

Budianto, P., & Andhyka Kusuma, W. (2021). Monitoring Jatuh Dengan Menggunakan Sensor Accelerometer dan Gyroscope. REPOSITOR, 3(1), 51–64.

Fadil, N. A. Implementasi Sistem Kendali PID (Proportional, Integrative, Derivative) Untuk Keseimbangan Gimbal Kamera Berbasis Mikrokontroler.

Firmansyah, T. (2021), Sistem Pemantauan Struktur Jembatan Berbasis IMU, Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro UGM

Indriastuti, M.T. et al. (2020) 'Rancang Bangun Sistem Keamanan Sepeda Motor Menggunakan Arduino Nano Dan Android Via Bluetooth', Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia, 14(1)

InvenSense (2013), MPU-6000/MPU-6050 Product Specification, Revision 3.4

Mudarris, M., & Zain, S. G. (2020). Implementasi Sensor Inertial Meansurenment Unit (IMU) untuk Monitoring Perilaku Roket. Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, Controls, 2(1), 55-64.

Murti, S. (2021). Kendali Keseimbangan Berjalan Robot Humanoid untuk Perubahan Kemiringan Lintasan Menggunakan LQR (Doctoral dissertation, Universitas Gadjah Mada).

Pambudi, A., & Leonardo, M. D. (2023). Perancangan Tongkat Bantu Inovatif Untuk Tunanetra Dengan Memanfaatkan Teknologi Sensor Gyroscope, Gps Dan Ultrasonik. Indonesian Journal of Business Intelligence (IJUBI), 6(1). https://doi.org/10.21927/ijubi.v6i1.3304

Pramana, Y. A. (2013). Implementasi Sensor Accelerometer, Gyroscope dan Magnetometer Berbasis Mikrokontroler Untuk Menampilkan Posisi Benda Menggunakan Inertial Navigation System. Bandung: Indonesian Computer University.

Samosir, A. S., & Widodo, N. S. (2020). Gyroscope and Accelerometer Sensor on the Lanange Jagad Dance Robot Balance System. Buletin Ilmiah Sarjana Teknik Elektro, 2(2), 51. https://doi.org/10.12928/biste.v2i2.922

Saputra, A. (2022), Metode Kalibrasi Cerdas untuk Sensor Inersia, Jurnal Ilmu Komputer dan Robotika, 5(1)

Wibowo, E., et al. (2020), Optimasi Algoritma Fusi Sensor untuk Aplikasi Aerospace, Jurnal Teknologi Dirgantara, 18(2)