BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

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.

Dengan terus berkembangnya teknologi IoT dan kebutuhan akan sistem real-time, penelitian ini memiliki relevansi tinggi sebagai dasar pengembangan sistem navigasi, balancing robot, atau pemantauan struktur berbasis edge device. Dengan pendekatan yang sederhana namun efektif, sistem ini membuka peluang untuk inovasi lebih lanjut, seperti integrasi nirkabel, penyimpanan data, dan kalibrasi otomatis.

B. Rumusan Masalah

Bagaimana menggabungkan data *accelerometer* dan *gyroscope* guna menghasilkan pembacaan sudut kemiringan pada bidang datar ?

C. Tujuan Penelitian

Untuk menghasilkan alat ukur kemiringan pada bidang datar dengan menampilkan sudut pitch dan roll

D. Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan sesuai, maka di perlukan batasan-batasan masalah yaitu sebagai berikut.

1. Rentang pengukuran: -90° hingga +90° untuk Pitch dan Roll pada bidang datar.
2. Validasi dilakukan dengan smartphone dan perhitungan manual berbasis geometrik

E. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian ini diharapkan bisa menjadi referensi untuk penelitian selanjutnya.
2. Secara akademis penelitian ini diharapkan dapat menambah khasanah penelitian ilmu teknik elektro.

3. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) terutama dalam bidang elektronik.

F. Sistematika Penulisan

Secara garis besar sistematika penulisan yang dapat disajikan sebagai berikut :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan tentang teori teori yang menyangkut tentang penelitian ini.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai metode metode yang akan digunakan dalam penelitian baik dari jenis penelitiannya, tahapan, bagan alir serta lain sebagainya.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini berisi tentang hasil yang telah dicapai dari penelitian yang telah dilakukan dari hasil uji laboratorium.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan dari seluruh penulisan, serta saran-saran yang dikemukakan berupa sumbangan pemikiran penulis tentang permasalahan tersebut diatas.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Sistem Instrumentasi

Sistem instrumentasi kemiringan merupakan suatu rancangan perangkat elektronik yang berfungsi untuk mengukur, menganalisis, dan menampilkan informasi sudut kemiringan suatu objek atau permukaan terhadap bidang horizontal atau vertikal. Sistem ini didasarkan pada prinsip fisika dasar terkait percepatan gravitasi dan gerak rotasi, yang diimplementasikan melalui sensor-sensor presisi dan mikrokontroler. Dalam konteks penelitian ini, sistem instrumentasi kemiringan dirancang menggunakan kombinasi sensor *accelerometer* dan *gyroscope* yang terintegrasi dalam satu modul, yaitu MPU6050, dengan Arduino Nano sebagai unit pemrosesan utama.

Konsep dasar sistem instrumentasi kemiringan berfokus pada transformasi fenomena fisik berupa sudut kemiringan menjadi besaran listrik yang dapat diukur dan diinterpretasikan. *Accelerometer* berperan untuk mengukur percepatan linear termasuk percepatan gravitasi bumi (9,8 m/s^2), sementara *gyroscope* berfungsi mengukur kecepatan sudut rotasi pada tiga sumbu ortogonal. Integrasi kedua sensor ini melalui algoritma pemrosesan sinyal yang tepat memungkinkan sistem untuk menghasilkan pembacaan sudut kemiringan yang lebih akurat dan stabil dibandingkan penggunaan satu jenis sensor saja.

Pada implementasinya, sistem ini menerapkan beberapa prinsip instrumentasi fundamental, meliputi: akuisisi data, pengkondisian sinyal,

pemrosesan sinyal, dan presentasi data. Tahap akuisisi data melibatkan pengambilan informasi mentah dari sensor MPU6050 melalui protokol komunikasi I²C (*Inter-Integrated Circuit*), yang memungkinkan pertukaran data secara serial antara sensor dan Arduino Nano dengan hanya menggunakan dua jalur komunikasi, yaitu SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock). Keuntungan protokol I²C adalah kemampuannya untuk menghubungkan beberapa perangkat dalam satu bus komunikasi, yang memudahkan ekspansi sistem jika diperlukan.

Proses pengkondisian sinyal dalam sistem ini mencakup konversi data mentah sensor (raw data) menjadi besaran fisik yang bermakna. Data mentah accelerometer dikonversi dari nilai ADC (*Analog-to-Digital Converter*) menjadi satuan percepatan gravitasi (g), sementara data *gyroscope* dikonversi menjadi satuan kecepatan sudut (derajat per detik). Langkah penting dalam pengkondisian sinyal adalah kalibrasi sensor untuk menentukan offset dan faktor skala yang tepat, sehingga dapat mengkompensasi error sistematik pada sensor. Proses kalibrasi dilakukan dengan menempatkan sensor pada posisi statis yang diketahui, kemudian mengukur deviasi pembacaan dari nilai yang seharusnya.

Pemrosesan sinyal merupakan aspek krusial dalam sistem instrumentasi kemiringan. Algoritma yang diimplementasikan dalam Arduino Nano meliputi penerapan fungsi trigonometri invers (atan2) untuk menghitung sudut berdasarkan data *accelerometer*, serta integrasi data gyroscope untuk mengestimasi perubahan sudut. Pendekatan yang lebih canggih seperti filter komplementer atau filter Kalman dapat diterapkan untuk mengombinasikan kelebihan kedua sensor, di mana *accelerometer* memberikan referensi sudut absolut yang akurat dalam kondisi

statis, sementara *gyroscope* memberikan respon yang cepat terhadap perubahan dinamis dengan drift minimal dalam jangka pendek.

Sistem instrumentasi ini dilengkapi dengan antarmuka visual berupa LCD 16x2 dengan modul I²C, yang berfungsi untuk menampilkan informasi sudut kemiringan dalam format numerik dan indikator baterai. Display ini menyediakan feedback langsung kepada pengguna tanpa memerlukan perangkat tambahan. Untuk memastikan portabilitas sistem, rangkaian catu daya mandiri dirancang menggunakan baterai Li-ion 18650 dengan kapasitas 2500-3500 mAh, dilengkapi modul charging TP4056 USB-C dan *boost converter* untuk menyediakan tegangan stabil 5V bagi komponen elektronik.

Aspek mekanik sistem instrumentasi kemiringan juga mendapat perhatian khusus melalui desain enclosure dari bahan akrilik atau plastik yang melindungi komponen elektronik dari gangguan eksternal, sekaligus memudahkan pengoperasian dengan adanya saklar on/off dan indikator status. Desain *enclosure* mempertimbangkan aspek ergonomis dan fungsional, termasuk kemudahan akses untuk pengisian daya dan positioning sensor yang tepat untuk memperoleh pembacaan yang akurat.

Dalam konteks aplikasi, sistem instrumentasi kemiringan memiliki spektrum penggunaan yang luas, mulai dari bidang konstruksi untuk verifikasi kerataan permukaan, bidang otomotif untuk pengukuran sudut kemiringan kendaraan, hingga aplikasi medis seperti analisis postur (Abdullah, S., Susanto, E., & Nsugraha, R. 2016). Sistem ini juga dapat diintegrasikan dengan sistem monitoring yang lebih besar melalui komunikasi serial atau nirkabel,

memungkinkan logging data jangka panjang dan analisis tren perubahan sudut kemiringan.

Keunggulan utama sistem instrumentasi kemiringan yang dikembangkan terletak pada kombinasi *akselerometer* dan *giroskop* yang memungkinkan kompensasi terhadap kelemahan masing-masing sensor. Akselerometer, meskipun memberikan referensi sudut yang akurat dalam kondisi statis, cenderung sensitif terhadap getaran dan percepatan linear yang dapat mengaburkan pembacaan gravitasi. Di sisi lain, *giroskop* menunjukkan respon yang sangat baik terhadap perubahan sudut dinamis, namun memiliki kecenderungan untuk mengalami drift akumulatif seiring waktu. Melalui penerapan algoritma fusion sensor yang tepat, sistem ini mampu menghasilkan pembacaan sudut yang stabil dan akurat dalam berbagai kondisi operasional.

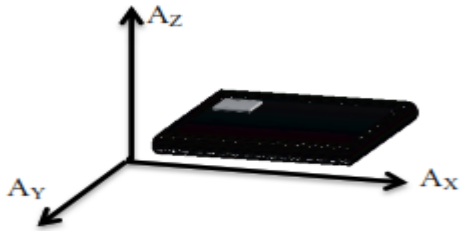
Metodologi pengembangan sistem instrumentasi kemiringan menerapkan pendekatan sistematis meliputi tahap perancangan, implementasi, dan evaluasi. Tahap perancangan mencakup analisis kebutuhan, pemilihan komponen, dan desain skematik. Tahap implementasi melibatkan perakitan *hardware*, pemrograman *firmware*, dan kalibrasi sensor. Sementara tahap evaluasi berfokus pada pengujian akurasi, presisi, reliabilitas, dan konsumsi daya sistem. Setiap tahap pengembangan dilengkapi dengan dokumentasi komprehensif yang memudahkan replikasi dan pengembangan lebih lanjut.

Dalam perspektif keberlanjutan, sistem instrumentasi kemiringan dirancang dengan mempertimbangkan aspek efisiensi energi melalui implementasi mode sleep pada mikrokontroler dan optimasi *firmware*. Penggunaan komponen

elektronik standar yang mudah diperoleh di pasaran juga memudahkan maintenance dan perbaikan jika terjadi kerusakan. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya menawarkan solusi teknis untuk pengukuran sudut kemiringan, tetapi juga mempertimbangkan aspek praktis dalam penggunaan jangka panjang.

B. Sensor *Accelerometer*

Sesuai namanya, sensor *akselerometer* adalah perangkat untuk mengukur akselerasi atau disebut juga dengan percepatan. Percepatan merupakan perubahan kecepatan terhadap waktu tertentu. Kecepatan yang berubah tersebut bisa semakin cepat maupun semakin lambat. Percepatan memiliki besaran dan arah, sehingga percepatan adalah besaran vektor (Alma'i, V. R., Wahyudi, W., & Setiawan, I. 2011). *Akselerometer* saat ini adalah perangkat elektromekanis yang dapat mengukur percepatan statis dan linear/dinamis. Semua benda di bumi secara natural dipengaruhi oleh percepatan statis sehingga selalu ditarik ke titik pusat bumi. Nilai percepatan statis tersebut selalu tetap yaitu sebesar G (1 G = 9,80665 m/s2). Sedangkan percepatan linear adalah percepatan benda ketika bergerak. Contohnya, percepatan bola yang ditendang atau mobil yang sedang melaju di jalan. Dengan memanfaatkan percepatan statis, sensor *akselerometer* dapat digunakan untuk mendeteksi kemiringan. Pengubahan mode *landscape* dan *portrait* pada layar smartphone juga memanfaatkan *akselerometer*. Sedangkan pada percepatan linear, sensor pada aplikasinya dapat digunakan sebagai bagian dari peralatan navigasi. Saat ini terdapat 3 macam sensor *akselerometer*, 1 sumbu, 2 sumbu (x-y), dan 3 Sumbu (x-y-z). Pada Gambar 2.1 merupakan pembagian sumbu (x-y-z)



Gambar 2. 1 Pembagian sumbu (x-y-z)
(*Sumber : Alma'i, V. R., Wahyudi, W., & Setiawan, I. 2011*)

Ketika sensor diletakkan pada bidang datar, nilai z yang dibaca sensor adalah -1G. Nilai minus ini dikarenakan berlawanan dengan arah gravitasi

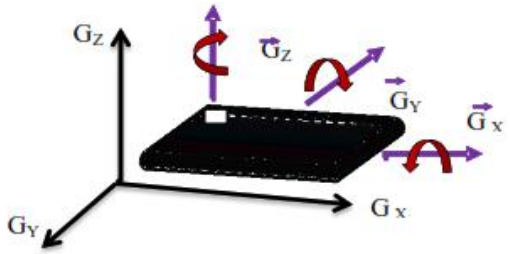
Sumbu x merupakan sumbu dengan arah longitudinal atau menghadap ke depan. Pada orientasi seperti Gambar 2.1, nilai yang dibaca sumbu sensor ini adalah 0. nilai tersebut akan bertambah jika sensor digerakkan ke depan, dan menjadi minus ketika digerakkan berlawanan arah sumbu.

Sumbu y merupakan sumbu pada arah lateral atau berada di sisi kanan dan kiri permukaan sumbu x-z. Seperti sumbux, sumbu y akan memiliki nilai positif maupun negatif ketika digerakkan sesuai sumbunya.

C. Sensor *Gyroscope*

Sebagai pengenalan, *Giroskop* adalah perangkat untuk mengukur atau mempertahankan orientasi, dengan prinsip ketetapan momentum sudut. Mekanismenya adalah sebuah roda berputar dengan piringan didalamya yang tetap stabil. *Gyroscope* adalah berupa sensor *gyro* untuk menentukan orientasi gerak dengan bertumpu pada roda atau cakram yang berotasi dengan cepat pada sumbu. Gyro sensor bisa mendeteksi gerakan sesuai gravitasi, atau dengan kata lain mendeteksi gerakan pengguna. Sebuah *gyroscope* beroperasi dengan kebebasan terhadap tiga sumbu. Pada Gambar 2.2 menjelaskan bahwa gyroscope memiliki

keluaran berupa kecepatan sudut dari arah 3 sumbu yaitu: sumbu x yang akan menjadi sudut phi (kanan dan kiri) dari sumbu y menjadi sudut theta (atas dan bawah), dan sumbu z menjadi sudut psi (depan dan belakang). Nilai sudut yang dihasilkan akan disesuaikan dengan perubahan gerakan pada sudut tertentu. Sebelum digunakan, sensor *gyroscope* terlebih dahulu dilakukan proses kalibrasi dengan menggunakan bandul. Proses kalibrasi tersebut berfungsi untuk memperoleh nilai faktor kalibrasi.



Gambar 2. 2 Arah Sumbu Sensor Gyroscope
(Sumber : Alma'i, V. R., Wahyudi, W., & Setiawan, I. 2011)

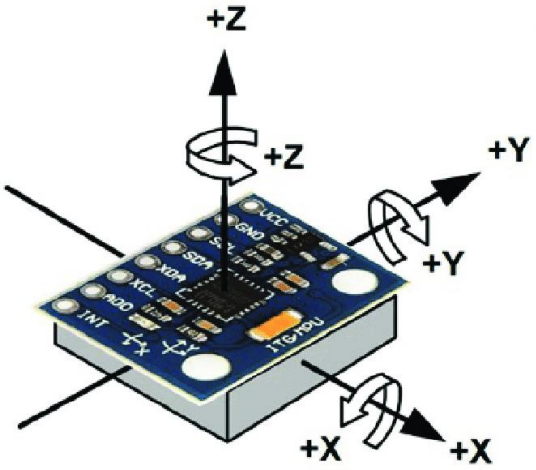
Ketika *gyroscope* berotasi searah jarum jam pada satu sumbu, maka keluaran tegangannya akan menjadi mengecil. Sedangkan jika berotasi berlawanan arah jarum jam, maka keluaran tegangannya menjadi tinggi. Perubahan nilai tegangan tersebut tergantung kepada kecepatan rotasi *gyroscope*.

D. Teknologi Sensor MPU6050

1. Pengenalan MPU-6050

Sensor MPU-6050 adalah salah satu modul *Inertial Measurement* Unit (IMU) paling populer yang dikembangkan oleh *InvenSense* (sekarang bagian dari TDK). Modul ini menggabungkan *accelerometer* 3-sumbu dan *gyroscope* 3-sumbu dalam satu chip berukuran kecil (4x4x0.9 mm), menjadikannya solusi hemat ruang untuk berbagai aplikasi pengukuran gerak dan orientasi. Sensor ini bekerja pada

tegangan 3.3V - 5V, sehingga kompatibel dengan berbagai platform mikrokontroler termasuk Arduino, ESP8266, dan STM32 (InvenSense, 2013).



Gambar 2. 3 Sensor MPU-6050
(Sumber : InvenSense, 2013)

2. Prinsip Kerja Komponen Utama

a. *Accelerometer* (3-sumbu)

Accelerometer dalam MPU-6050 berbasis teknologi MEMS (*Micro-Electro-Mechanical Systems*). Sensor ini mengukur percepatan linier (termasuk gravitasi) pada sumbu X, Y, dan Z dengan resolusi hingga ±2g, ±4g, ±8g, atau ±16g (dapat dikonfigurasi). Namun, *accelerometer* rentan terhadap noise frekuensi tinggi dari getaran mekanis (Wibowo et al., 2020).

b. *Gyroscope* (3-sumbu)

Gyroscope MPU-6050 mengukur kecepatan sudut (dalam °/detik) dengan rentang ±250, ±500, ±1000, atau ±2000°/detik. Data *gyroscope* diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan perubahan sudut. Sayangnya, metode ini menyebabkan akumulasi error (*drift*) yang signifikan setelah beberapa menit operasi (Firmansyah et al., 2021).

3. Fitur-fitur Khusus

a. *Digital Motion Processor* (DMP): Unit pemroses internal yang mampu menjalankan algoritma sensor fusion secara mandiri, mengurangi beban CPU utama.

b. Fungsi *Interrupt*: Memicu interrupt berdasarkan threshold gerakan, *free-fall*, atau kondisi spesifik.

c. Sensitivitas Terprogram: Memungkinkan konfigurasi rentang pengukuran sesuai kebutuhan aplikasi.

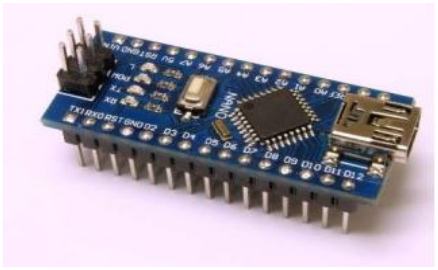
d. Antarmuka I²C: Kecepatan komunikasi hingga 400 kHz, dengan alamat default 0x68 (bisa diubah ke 0x69).

Sensor MPU-6050 tetap menjadi pilihan utama untuk proyek akademik dan prototipe industri di Indonesia karena rasio performa-harga yang unggul, meskipun untuk aplikasi komersial high-end mulai digantikan oleh seri MPU-9250 atau BMI-series yang lebih mutakhir.

E. Mikrokontroler Arduino Nano

Mikrokontroler adalah sebuah perangkat komputer kecil yang digunakan untuk menjalankan suatu program c. Seri mikrokontroler yang kini sangat populer yaitu Arduino. Arduino Bmerupakan sebuah papan elektronik yang memiliki kemampuan untuk merealisasikan berbagai proyek elektronika serta melibatkan pemrograman. Papan ini terdiri dari sebuah chip mikrokontroler dengan jenis AVR yang diproduksi oleh perusahaan Atmel. Untuk keperluan memprogram Arduino diperlukan perangkat lunak bernama Arduino IDE (*Integrated Development*

Environment) . Jenis dari Arduino banyak sekali, salah satunya yaitu Arduino Nano pada Gambar 2. 1 berikut.

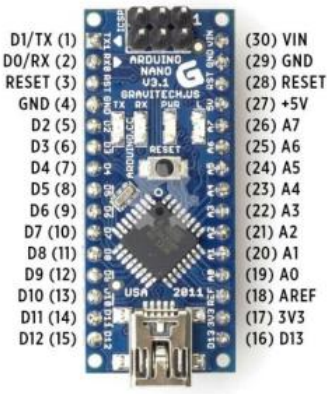


Gambar 2. 4 Arduino Nano
(Sumber : Indriastuti et al., 2020)

Arduino Nano adalah salah satu jenis Arduino yang memiliki ukuran papan yang lebih kecil dengan berat sekitar 5 gram. Arduino Nano ini didasarkan pada mikrokontroler ATMega328 (Indriastuti et al., 2020). Arduino Nano dilengkapi dengan 14 pin digital yang diberi label dari pin D0 sampai pin D13. Selain itu, terdapat 6 pin PWM dan 8 pin analog dengan label yaitu A0 sampai A7. Setiap pin memiliki kapasitas input/output arus DC sebesar 40 mA, dan tegangan input optimalnya sebasar 7 hingga 12 Volt. Arduino Nano menggunakan mikrokontroler ATMega328, yang memiliki kapasitas penyimpanan program sebesar 32 KB Flash Memory. Selain itu, terdapat 2 KB yang digunakan untuk boothloader, 2 KB SRAM dan 1 KB untuk EEPROM. Spesifikasi Arduino Nano yaitu pada Tabel 2. 2 berikut.

Tabel 2. 1 Spesifikasi Arduino Nano *Sumber : Indriastuti et al., (2020)*

Komponen	Spesifikasi
Mikrokontroler	ATmega328
Arsitektur	AVR
Operating Voltage	5V
Input Voltage	7 – 12 V DC
Digital I/O Pins	22 (6 sebagai *output* PWM)
Analog *Input* Pins	8
DC Current untuk 3.3 V pin	40 mA
DC Current per I/O pin	40 mA (I/O Pins)
Flash Memory	32 Kb (ATMega328) dengan 2 Kb sebagai boothloader
SRAM	2 KB (ATMega328)
EEPROM	1 KB (ATMega328)
Clock Speed	16 MHz
Panjang, Lebar, Berat	45 mm, 18 mm, 5g



Gambar 2. 5 Konfigurasi Pin Arduino Nano
(Sumber : Indriastuti et al., 2020)

Berikut adalah penjelasan mengenai konfigurasi pin Arduino Nano:

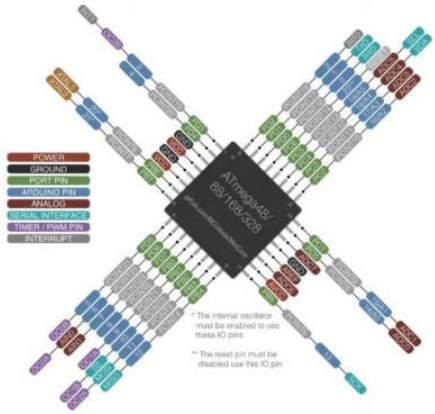
1. Pin VCC berfungsi sebagai input catu daya digital.

2. Pin GND adalah pin ground yang digunakan untuk catu daya digital.

3. AREF adalah pin referensi tegangan input analog. Digunakan bersama dengan fungsi analogReference().
4. RESET adalah Jalur yang digunakan untuk me-reset atau menghidupkan ulang Arduino. Biasanya digunakan untuk menambahkan tombol reset pada shield yang menghalangi board utama Arduino.
5. Serial RX (0) berfungsi sebagai penerima data serial TTL.
6. Serial TX (1) berfungsi sebagai pengirim data serial TTL.
7. *External Interrupt* (Interupsi Eksternal) adalah pin yang dapat dikonfigurasi untuk memicu interupsi saat nilai pin tersebut rendah, meningkat atau menurun, atau berubah.
8. Output PWM 8 Bit (3, 5, 6, 9, 11) adalah pin yang berfungsi untuk data analogWrite().
9. SPI (10 (SS), 11 (MOSI), 12 (MISO) and 13 (SCK)) adalah pin yang berfungsi sebagai pendukung komunikasi.
10. LED (13) berfungsi sebagai pin yang diatur bernilai HIGH, maka LED akan menyala, ketika pin diatur bernilai LOW maka LED padam. LED Tersedia secara built-in pada board Arduino Nano.
11. I2C (A4 (SDA), A5 (SCA)) sebagai komunikasi TWI.
12. Analog Input (A0-A7) digunakan untuk membaca input Analog. Arduino Nano dapat membaca perubahan tegangan antara 0 – 5V. Pin ini juga memungkinkan pengaturan titik jangkauan tertinggi dan terendah menggunakan fungsi analogReference().

13. Digital I/O pin (D0-D13) digunakan sebagai input/output. Arduino Nano membaca perubahan status tegangan antara 0V (LOW) hingga 5V (HIGH) (Pirngadi, 2022)

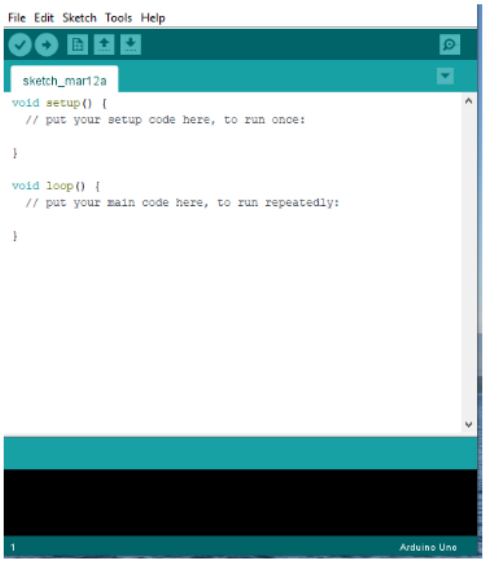
Mikrokontroler yang digunakan Arduino Nano adalah ATMega328P, konfigurasi pin ATMega328P dilihat pada Gambar 2. 3 berikut.



Gambar 2. 6 ATMega238P Pin Mapping
(Sumber : Indriastuti et al., 2020)

F. Arduino IDE

IDE (*Integrated Development Environment*) adalah *software* resmi yang diperkenalkan oleh Arduino.cc. Arduino IDE adalah *software* bersifat open source yang artinya source code-nya dapat diakses dan dimodifikasi oleh siapa saja. Arduino IDE digunakan untuk menyusun kode yang nantinya di-upload ke dalam modul Arduino. Tersedia untuk Operating seperti *Linux*, *Windows*, MAC dan berjalan di Platform Java yang dilengkapi dengan perintah dan fungsi bawaan yang berperan penting untuk debugging, pengeditan, dan pengujian program Arduino dan mengunggahnya ke papan Arduino. Untuk mengunggah program agar dapat berkomunikasi dengan Arduino, pastikan Arduino IDE terhubung dengan board Arduino dengan sambungan kabel USB.



Gambar 2. 7 Tampilan Utama Arduino IDE
(Sumber : Indriastuti et al., 2020)

Bahasa yang digunakan Arduino IDE yaitu bahasa pemrograman C dan C++. Pada Gambar 2. 7. dikenal sebagai *sketch*, yang digunakan untuk mengedit kode perintah atau program dan akan memberikan informasi ketika compiling sketch atau diunggah ke board Arduino. Fungsi toolbar dari masing-masing tools diatas yaitu untuk memverifikasi sketch, mengunggah sketch, membuka sketch baru, menyimpan sketch, dan membuka sketch yang sudah tersimpan serta di sebelah kanan pojok untuk menampilkan serial monitor.

G. Penelitian Terdahulu

Penelitian dilakukan oleh Priyatna Budianto, Wahyu Andhyka Kusuma, dan Syaftuddin pada tahun 2021 dengan judul "Monitoring Jatuh Dengan Menggunakan Sensor *Accelerometer* dan *Gyroscope*". Tujuan utama penelitian ini adalah mengembangkan sistem monitoring gerakan jatuh menggunakan sensor *accelerometer* dan *gyroscope* yang tertanam pada *smartphone* untuk mendeteksi

gerakan jatuh secara akurat, terutama pada kelompok rentan seperti lansia, anak-anak, dan dewasa, guna mencegah dampak buruk seperti cedera atau kematian. Metode yang digunakan melibatkan perekaman gerakan jatuh melalui sensor *accelerometer* dan *gyroscope* pada smartphone, di mana data dari sensor diolah menjadi nilai total *akselerasi* (AT) dan orientasi (GT) menggunakan rumus *matematis*. Pengujian dilakukan dengan 16 skenario gerakan jatuh, dan akurasi sistem diukur menggunakan parameter True Positive (TP) dan *False Negative* (FN) dengan persamaan *sensitivitas*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor *accelerometer* memiliki sensitivitas 79,17%, sedangkan *gyroscope* mencapai 66,67%, mengindikasikan bahwa kedua sensor pada smartphone cukup efektif untuk mendeteksi gerakan jatuh, dengan *accelerometer* memberikan performa lebih baik. Grafik dan tabel hasil pengujian memperlihatkan variasi akurasi tergantung jenis gerakan, seperti gerakan "*Podium*" yang terdeteksi sempurna (100%), sementara "*Right-recovery*" hanya 33%. Kesimpulannya, sistem ini berpotensi digunakan sebagai alat monitoring jatuh yang praktis dan terjangkau.

Penelitian dilakukan oleh Farichul Aqdam Tritunggal, Candra Pradana, dan Erlillah Rizqi Kusuma Pradani pada tahun 2023 dengan judul "Sistem Deteksi Gempa Otomatis Berbasis Mikrokontroler Arduino dan Sensor Accelerometer MPU6050". Tujuan penelitian adalah menciptakan sistem deteksi gempa otomatis berbasis Arduino dan sensor MPU6050 sebagai alternatif sistem BMKG yang lebih besar, khususnya untuk masyarakat di daerah rawan gempa. Alat ini dirancang untuk mendeteksi getaran setara 4 Skala *Richter* (SR) dan memberikan peringatan melalui *buzzer*. Metode yang digunakan adalah *Research* and *Development* (R&D)

dengan tahapan simulasi menggunakan Wokwi, di mana sistem terdiri dari sensor MPU6050, Arduino Uno, relay, dan buzzer. Getaran diukur dan dikonversi ke skala Richter, dengan *buzzer* yang aktif saat getaran mencapai 6000 (4 SR). Pengujian meliputi kalibrasi sensor, modul relay, dan sistem keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat berhasil mendeteksi getaran dan menampilkannya dalam grafik serta serial monitor, dengan *buzzer* yang aktif pada interval 3 detik saat getaran mencapai ambang batas. Meskipun pengujian fisik belum dibandingkan dengan seismograf aktual, simulasi menunjukkan sistem bekerja sesuai desain. Peneliti menyarankan pengembangan lebih lanjut untuk meningkatkan skala deteksi dan kompleksitas sistem agar lebih efektif dalam aplikasi nyata.

Penelitian dilakukan oleh Ahmad Sopi Samosir dan Nuryono Satya Widodo pada tahun 2020 dengan judul "*Gyroscope* and *Accelerometer* Sensor *on the Lanange Jagad Dance Robot Balance System*". Tujuan penelitian adalah mengembangkan sistem keseimbangan untuk robot humanoid penari menggunakan sensor *gyroscope* dan *accelerometer* MPU6050 yang dikontrol melalui Arduino MEGA 2560 PRO, agar robot dapat bergerak luwes dan tidak mudah terjatuh saat menari di arena dengan permukaan miring. Metode penelitian mencakup implementasi hardware (Arduino, OpenCM 9.04, servo dynamixel, dan sensor MPU6050) dan *software* dengan algoritma Kalman Filter untuk mengurangi noise pada data sensor. Pengujian dilakukan dalam tiga kondisi: diam, berjalan, dan menari, dengan variasi kemiringan arena 0° hingga 10°. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem keseimbangan meningkatkan keberhasilan robot secara signifikan, dengan persentase keberhasilan 88,8% saat diam, 86,6% saat berjalan,

dan 75% saat menari, dibandingkan tanpa sistem yang hanya mencapai 48,4%. Kesimpulannya, penggunaan sensor dan Kalman Filter efektif dalam menjaga kestabilan robot, terutama pada permukaan tidak rata.

Penelitian dilakukan oleh Agung Pambudi dan Muhammad Diego Leonardo pada tahun 2023 dengan judul "Perancangan Tongkat Bantu Inovatif untuk Tunanetra dengan Memanfaatkan Teknologi Sensor *Gyroscope*, GPS dan Ultrasonik". Tujuan penelitian adalah mengembangkan tongkat pintar berbasis IoT untuk tunanetra yang dilengkapi sensor ultrasonik (mendeteksi objek), *gyroscope* (mengukur kemiringan), dan GPS (pelacakan lokasi), serta terintegrasi dengan aplikasi Telegram untuk notifikasi. Metode yang digunakan adalah *Research* and *Development* (R&D) dengan tahapan pengumpulan informasi, perancangan, pengujian alpha, dan revisi produk. Implementasi melibatkan Arduino Nano (untuk sensor ultrasonik dan buzzer) dan NodeMCU ESP-12E (untuk GPS dan gyroscope). Hasil pengujian menunjukkan bahwa tongkat berfungsi optimal: sensor ultrasonik mendeteksi objek dengan respon buzzer semakin cepat saat objek mendekat (5-30 cm), gyroscope mengklasifikasikan kemiringan medan (0-40° aman, >40° tidak aman), dan GPS terdeteksi di luar ruangan dengan akurasi tinggi. Kelemahan hanya pada keterbatasan GPS di dalam gedung. Kesimpulannya, tongkat ini efektif membantu tunanetra dalam navigasi dan keselamatan, dengan rencana pengembangan menggunakan kecerdasan buatan (AI) di masa depan.

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

A. Jenis 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.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

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)

C. Alat dan Bahan

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

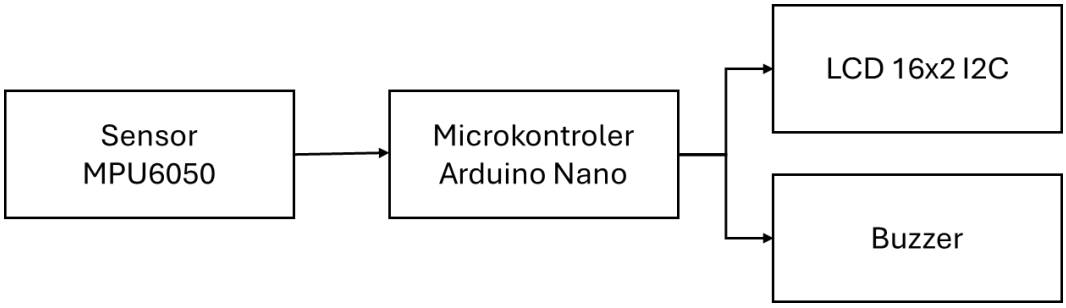
Tabel 3. 1 Daftar Peralatan dan Bahan

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

D. Rancangan Sistem

. Pada bagian ini akan dibahas suatu pernyataan rangkaian alat yang akan dirancang. Berikut blok diagram dan flowchart Sistem Instrumentasi Kemiringan Menggunakan Accelerometer Dan Gyroscope Terintegrasi.



Gambar 3. 1 Diagram Blok Sistem Kerja

Diagram blok sistem keseluruhan dari alat ini terdiri dari tiga komponen utama: Sensor MPU6050, Mikrokontroler Arduino Nano, dan Output (LCD 16x2 I2C dan Buzzer).

Penjelasan pada bagian blok diagram adalah Sensor MPU6050 berfungsi sebagai unit deteksi sudut kemiringan (Pitch dan Roll) melalui kombinasi accelerometer dan gyroscope. Sensor ini mengirimkan data percepatan dan kecepatan sudut ke mikrokontroler melalui protokol I2C. Mikrokontroler Arduino Nano bertindak sebagai pusat pemrosesan data. Mikrokontroler menerima data dari MPU6050, memprosesnya menggunakan algoritma fusi sensor (*complementary filter*), dan menghasilkan nilai sudut kemiringan yang akurat. LCD 16x2 I2C digunakan sebagai media output visual untuk menampilkan nilai sudut Pitch dan Roll secara real-time, dilengkapi indikasi arah miring menggunakan simbol panah

(^, v, >, <). Buzzer berfungsi sebagai notifikasi audio, aktif saat posisi alat stabil atau selama proses inisialisasi, memberikan umpan balik kepada pengguna tanpa harus melihat layar.

Alur kerja sistem dimulai dari pembacaan data oleh sensor, dilanjutkan dengan pemrosesan di mikrokontroler, dan diakhiri dengan tampilan hasil pada LCD serta notifikasi suara dari buzzer. Semua komunikasi antar komponen dilakukan melalui protokol I2C (untuk sensor dan LCD) dan pin digital (untuk buzzer), sehingga sistem menjadi kompak dan efisien.

E. Teknik Pengumpulan Data

1. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan teoritis dalam integrasi data accelerometer dan gyroscope sebagai dasar pengukuran sudut kemiringan pada bidang datar. Kajian difokuskan pada prinsip kerja sensor MPU6050, yang menggabungkan akselerometer 3-sumbu dan giroskop 3-sumbu untuk mendeteksi kemiringan pada bidang datar. Sumber literatur meliputi jurnal ilmiah, buku, datasheet komponen, serta dokumentasi teknis mengenai algoritma fusi sensor. Penekanan utama diberikan pada metode *complementary filter* sebagai pendekatan yang efisien dalam menggabungkan data dari kedua sensor yaitu accelerometer yang memberikan respons stabil terhadap gravitasi statis dan gyroscope yang sensitif terhadap perubahan dinamis namun rentan terhadap drift. Hasil kajian ini menjadi dasar pemilihan metode fusi sensor yang tepat untuk menghasilkan pembacaan sudut yang akurat dan stabil pada kondisi bidang datar.

2. Pengujian

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi integrasi data accelerometer dan gyroscope dalam menghasilkan pembacaan sudut kemiringan pada bidang datar. Pengujian difokuskan pada kondisi statis, di mana alat ditempatkan pada berbagai sudut kemiringan terkontrol (0°, 15°, 30°, 45°, 60°, dan 90°) untuk mengamati kinerja algoritma fusi sensor. Data mentah dari MPU6050 diproses menggunakan *complementary filter* untuk menghasilkan sudut Pitch dan Roll, yang kemudian dibandingkan dengan nilai referensi dari perangkat independen (smartphone) dan perhitungan geometri manual. Analisis dilakukan terhadap akurasi, stabilitas, dan respons sistem dalam menghasilkan pembacaan yang konsisten. Proses kalibrasi awal dan koreksi offset juga dievaluasi untuk meminimalkan error sistematis. Hasil pengujian menjadi dasar verifikasi bahwa penggabungan data dari kedua sensor mampu menghasilkan pembacaan sudut yang andal pada bidang datar.

3. Analisis

Setelah dilakukan pengujian, selanjutnya dilakukan analisis data hasil pengujian dengan menggunakan beberapa analisis sebagai berikut:

a. Analisis Error Statis

Analisis ini dilakukan untuk mengevaluasi akurasi sistem dalam mengukur sudut kemiringan tetap. Data yang diambil pada berbagai sudut referensi (0°, 15°, 30°, 45°, dst) akan dibandingkan dengan nilai sebenarnya. Error dihitung sebagai selisih antara sudut terukur dengan sudut referensi. Rata-rata error dan deviasi standar akan dihitung untuk memberikan gambaran tentang presisi sistem.

Misalnya, jika pada sudut 30° sistem membaca 29.5°, maka error absolutnya adalah 0.5°.

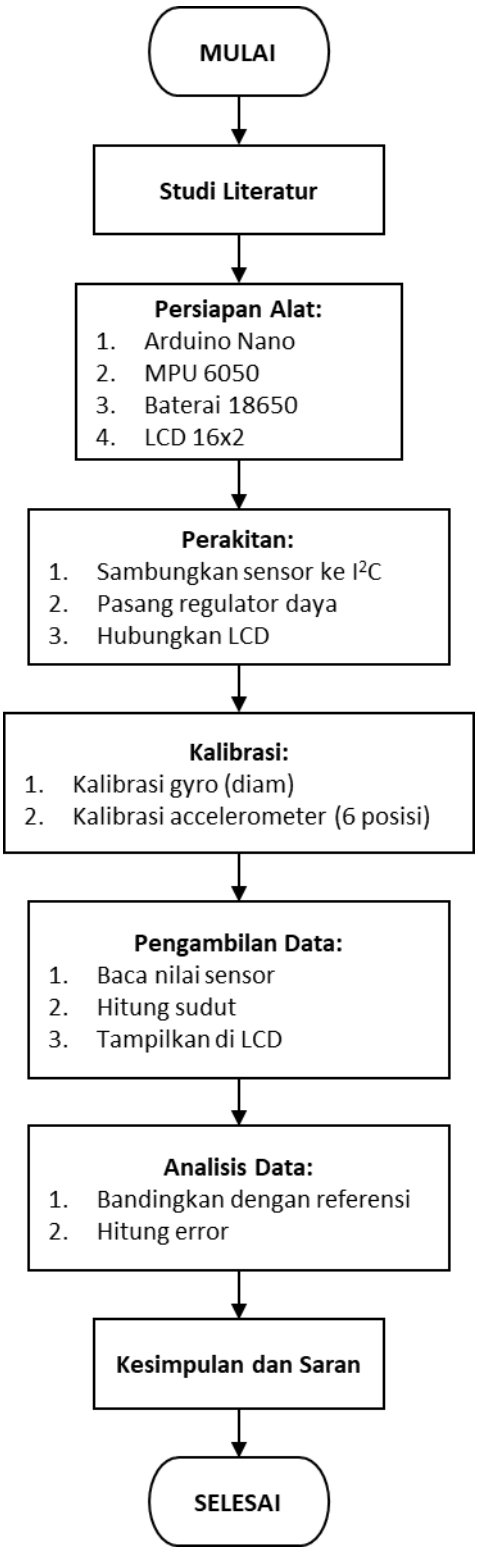
b. Analisis Stabilitas Pembacaan

Untuk menilai konsistensi sistem, data yang diambil pada sudut tetap akan dianalisis variansinya. Sebagai contoh, 100 pembacaan berturut-turut pada posisi datar (0°) akan diolah untuk melihat fluktuasi nilai output. Standar deviasi dari pembacaan ini akan menjadi indikator stabilitas sistem. Semakin kecil standar deviasi, semakin stabil performa sistem dalam kondisi statis.

c. Analisis Respons Dinamis

Pengujian respons sistem terhadap perubahan sudut mendadak akan dilakukan dengan merekam waktu yang dibutuhkan sistem untuk mencapai 90% dari nilai akhir ketika diubah dari 0° ke sudut tertentu (misalnya 45°). Parameter rise time dan settling time akan diukur dari grafik respon sistem. Ini menunjukkan seberapa cepat sistem dapat mengikuti perubahan kemiringan.

F. Diagram Alir Penelitian



Gambar 3. 2 Bagan Alir Penelitian

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Perancangan Perangkat Keras

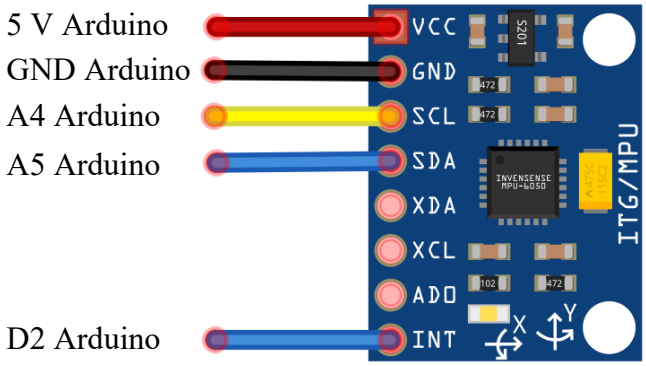
Perancangan perangkat keras merupakan tahap penting dalam pengembangan sistem instrumen kemiringan. Sistem dirancang untuk bekerja secara akurat, stabil, dan efisien dalam konsumsi daya. Komponen-komponen yang digunakan dipilih berdasarkan kriteria: akurasi, kompatibilitas, ketersediaan, dan biaya yang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

1. 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

Prinsip kerja sistem pendeteksi kemiringan dimulai dari akselerometer yang mendeteksi percepatan linear, termasuk komponen percepatan akibat gravitasi bumi. Sudut kemiringan dihitung berdasarkan proyeksi sumbu-X (*pitch*) dan sumbu-Y (*roll*). Selain itu, giroskop digunakan untuk mengukur kecepatan sudut pada masing-masing sumbu, yang berperan dalam memperbaiki pembacaan sensor

secara dinamis. Data dari giroskop membantu mengurangi gangguan noise serta drift jangka pendek yang umum terjadi pada pembacaan akselerometer, sehingga diperoleh sensor sudut kemiringan yang lebih stabil dan akurat.



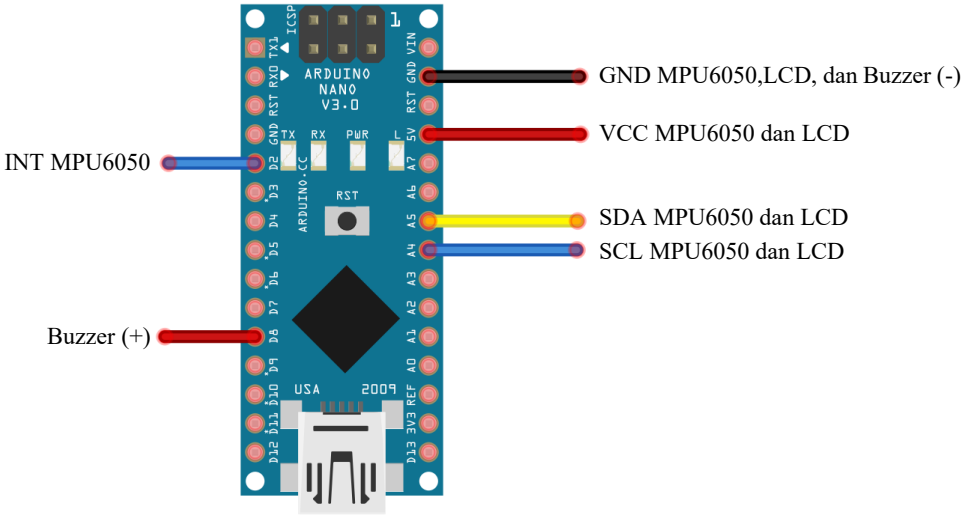
Gambar 4. 1. Rangkaian pendeteksi kemiringan

2. 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

Prinsip kerja unit pengolahan data diawali dari *Arduino Nano* membaca data percepatan dan kecepatan sudut dari MPU6050, kemudian menghitung sudut *Pitch* dan *Roll* berdasarkan integrasi gravitasi dan kecepatan sudut. Sistem menerapkan kalibrasi otomatis untuk menghilangkan *offset* sensor dan koreksi manual untuk

meningkatkan akurasi pembacaan. Setelah data diproses, *Arduino Nano* mengirimkan hasil pembacaan ke unit tampilan (LCD) dan mengaktifkan notifikasi suara melalui *buzzer*. Dengan kemampuan pemrosesan dan integrasi terhadap perangkat keras, *Arduino Nano* mampu menghasilkan pembacaan sudut yang stabil, responsif, dan mudah diinterpretasi.

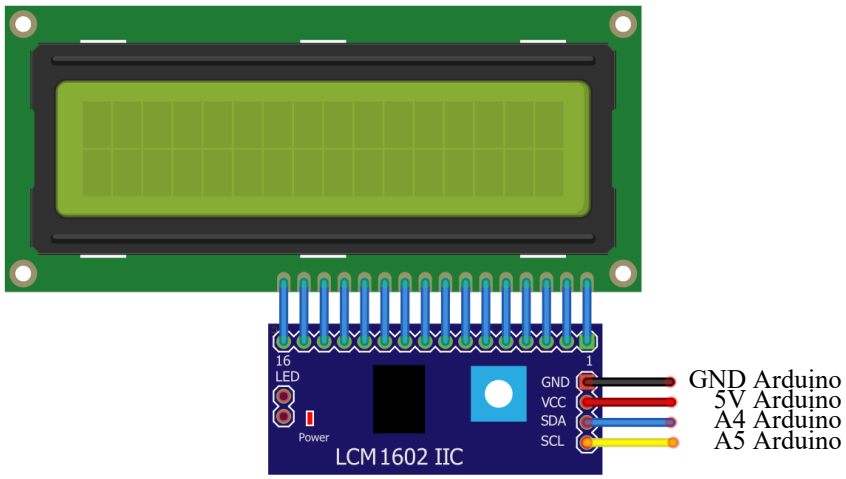


Gambar 4. 2 Rangkaian unit pengolahan data

3. 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.

Prinsip kerja unit tampilan yaitu Arduino Nano mengirimkan data hasil pemrosesan ke LCD yang mengonversi sinyal I2C menjadi sinyal paralel. Baris pertama menampilkan sudut *Pitch* dilengkapi simbol panah (^ atau v) sebagai indikasi arah kemiringan depan-belakang, sedangkan baris kedua menampilkan sudut *Roll* dengan simbol (> atau <) untuk arah kiri-kanan. Ketika alat berada dalam posisi datar (sudut mendekati 0°), sistem menampilkan pesan "Posisi Stabil!" sebagai konfirmasi kondisi seimbang. Unit tampilan ini memastikan bahwa informasi kemiringan dapat dibaca dengan cepat dan akurat serta mendukung kinerja sistem secara keseluruhan.

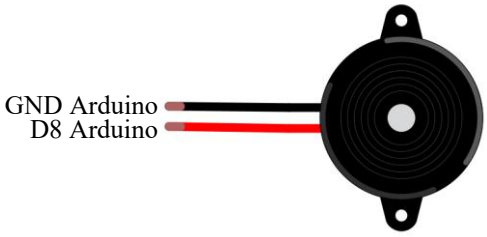


Gambar 4. 3. Rangkaian unit tampilan

4. Unit Notifikasi (*Buzzer* Aktif)

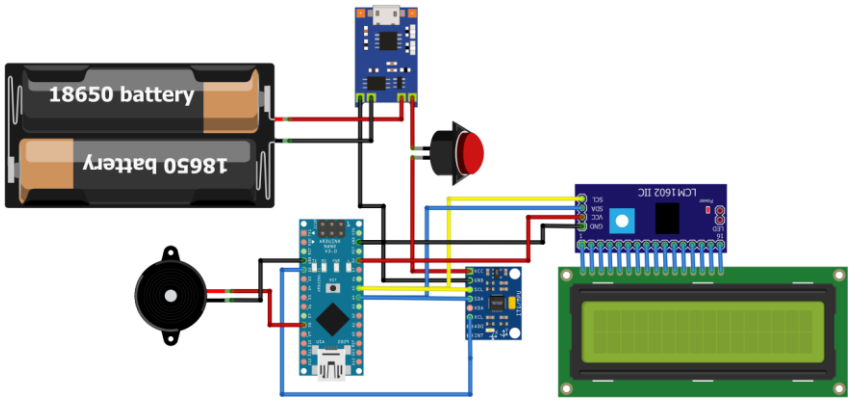
Unit notifikasi berfungsi sebagai media audio yang memberikan informasi kondisi sistem secara non-visual. Komponen utama yang digunakan adalah buzzer aktif yang dihubungkan ke pin digital mikrokontroler Arduino Nano. *Buzzer* dikontrol secara langsung oleh Arduino. Integrasi buzzer dalam sistem

meningkatkan interaktivitas dan keandalan antarmuka, terutama dalam lingkungan dengan keterbatasan akses visual atau sebagai penanda penting selama penggunaan.



Gambar 4. 4. Rangkaian unit notifikasi

Prinsip kerja unit notifikasi yaitu *buzzer* memberikan tiga jenis sinyal suara yang merepresentasikan kondisi tertentu dari sistem. Saat perangkat dinyalakan, sistem mengeluarkan bunyi pendek sebagai indikasi bahwa proses inisialisasi dan animasi loading telah dimulai. Setelah proses kalibrasi sensor MPU6050 selesai, sistem menghasilkan bunyi panjang sebagai konfirmasi bahwa sensor telah siap digunakan. Selanjutnya, ketika alat mencapai posisi datar, sistem akan mengaktifkan dua bunyi pendek secara berurutan sebagai notifikasi bahwa posisi stabil telah tercapai.



Gambar 4. 5 Rangkaian sistem keseluruhan

B. Perancangan Perangkat Lunak

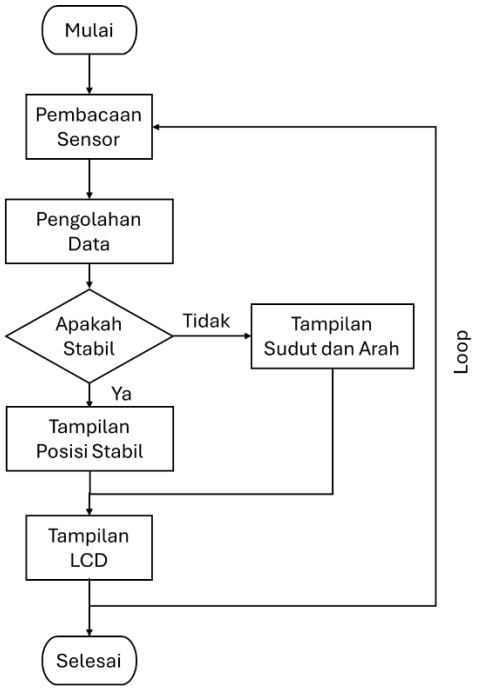
Perangkat lunak merupakan komponen inti dalam sistem instrumen kemiringan yang bertugas mengakuisisi data dari sensor MPU6050, memproses sudut kemiringan (*Pitch* dan *Roll*), menampilkan hasil pada LCD 16x2 I2C, serta memberikan notifikasi suara melalui *buzzer.* Sistem dikembangkan menggunakan *Arduino 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.

1. Flowchart

Flowchart adalah grafik yang digunakan untuk menggambarkan alur kerja atau proses dalam bentuk simbol-simbol grafis untuk menunjukkan Langkah-langkah aliran kontrol yang berperan dalam proses. *Flowchart* memudahkan penerimaan pengertian suatu sistem dalam cara yang lebih visual dan terstruktur.

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 4.6.



Gambar 4. 6 *Flowchart* instrumen kemiringan

Jika posisi dianggap stabil, layar LCD akan menampilkan pesan "Posisi Stabil!" beserta nilai sudut nol, sementara *buzzer* mengeluarkan dua bunyi pendek sebagai notifikasi bahwa alat berada dalam kondisi datar. Namun, jika alat dalam keadaan miring, sistem akan menampilkan nilai sudut *Pitch* dan *Roll* secara *real-time*, dilengkapi dengan simbol panah (· , `v`, `>`, `<`) yang menunjukkan arah kemiringan. Tampilan ini diperbarui setiap 200 milidetik untuk memastikan respons yang cepat dan stabil tanpa *flicker* berlebihan pada layar. Proses ini terus berulang selama sistem menyala, memungkinkan pengguna memantau perubahan orientasi secara kontinu dengan akurat dan intuitif.

2. Uraian Program

Adapun sketch program yang di gunakan untuk menjalankan fungsi dari sistem yang dibuat sesuai dengan *flowchart* yaitu:

a. Inisialisasi Library dan Objek

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
#include <MPU6050_tockn.h>
// Inisialisasi sensor MPU6050
MPU6050 mpu(Wire);
// Inisialisasi LCD (0x27)
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
// Pin buzzer
const int buzzerPin = 8;
// Faktor kalibrasi
float pitchOffset = -4.0;   // Koreksi Pitch
float rollOffset  = +2.0;   // Koreksi Roll
```

Kode program dimulai dengan penyertaan tiga library utama: `*Wire.h*` untuk komunikasi I2C antara mikrokontroler dan perangkat eksternal, `*LiquidCrystal_I2C.h*` untuk mengendalikan tampilan LCD 16x2 melalui antarmuka I2C, serta `*MPU6050_tockn.h*` untuk membaca dan memproses data dari sensor MPU6050. Selanjutnya, objek `*mpu*` dibuat dari kelas `MPU6050` dengan parameter `*Wire*`, menunjukkan bahwa sensor akan berkomunikasi melalui protokol I2C. Objek `*lcd*` diinisialisasi dengan alamat I2C `0x27`, serta dimensi layar 16 × 2, yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran dan status sistem. Pin digital `D8` didefinisikan sebagai `*buzzerPin*` untuk mengendalikan

buzzer aktif sebagai notifikasi suara. Terakhir, dua variabel `*pitchOffset*` dan `*rollOffset*` sebagai koreksi kalibrasi manual untuk memperbaiki offset sensor, di mana nilai `-4.0` dan `+2.0` diterapkan pada sudut *Pitch* dan *Roll* agar pembacaan lebih akurat saat posisi datar, sehingga sistem mampu memberikan hasil yang presisi dan andal.

b. Fungsi setup()

```
void setup() {
  Serial.begin(9600);
  Wire.begin();
  // Inisialisasi LCD
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  // Inisialisasi buzzer
  pinMode(buzzerPin, OUTPUT);
  // Jalankan animasi loading screen
  showLoadingScreen();
  // Jalankan kalibrasi sensor
  kalibrasiSensor();
  // Tampilkan header
  showHeader();
}
```

Kode program dimulai dari Fungsi `*setup()*` merupakan kode yang dijalankan sekali saat sistem dinyalakan, bertugas menginisialisasi seluruh komponen perangkat keras. `*Serial.begin(9600)*` mengaktifkan komunikasi serial untuk debugging melalui Serial Monitor dengan baud rate 9600 bps. `*Wire.begin()*` memulai protokol komunikasi I2C yang digunakan oleh sensor MPU6050 dan

LCD. LCD diinisialisasi dengan `*lcd.init()*` dan backlight diaktifkan menggunakan `*lcd.backlight()*` agar layar menyala dan siap menampilkan data. Pin buzzer dikonfigurasi sebagai output melalui `*pinMode(buzzerPin, OUTPUT)*` agar dapat dikendalikan secara digital. Selanjutnya, sistem menjalankan tiga fungsi utama secara berurutan: `*showLoadingScreen()*` untuk menampilkan *loading screen* pada saat perangkat dinyalakan, `*kalibrasiSensor()*` untuk melakukan kalibrasi awal pada MPU6050, dan `*showHeader()*` untuk menampilkan identitas sistem selama beberapa detik, sehingga proses inisialisasi menjadi lebih interaktif dan terstruktur.

c. Fungsi loop()

```
void loop() {
  mpu.update(); // Update data dari MPU6050
  float pitch = mpu.getAccAngleX() + pitchOffset;
  float roll  = mpu.getAccAngleY() + rollOffset;
  // Bersihkan layar
  lcd.clear();
  // Jika hampir datar
  if (abs(pitch) < 1 && abs(roll) < 1) {
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Posisi Stabil!");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Pitch: 0 Roll: 0");
  // Bunyi dua kali pendek jika stabil
    playStableBeep();
  } else {
  // Petunjuk arah pitch
    char dirPitch[2];
```

```
      if (pitch > 1) strcpy(dirPitch, "^");
      else if (pitch < -1) strcpy(dirPitch, "v");
      else strcpy(dirPitch, "-");
   // Petunjuk arah roll
      char dirRoll[2];
      if (roll > 1) strcpy(dirRoll, ">");
      else if (roll < -1) strcpy(dirRoll, "<");
      else strcpy(dirRoll, "-");
   // Tampilkan hasil
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Pitch:");
      lcd.print((int)pitch);
      lcd.print(" ");
      lcd.print(dirPitch);
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("Roll :");
      lcd.print((int)roll);
      lcd.print(" ");
      lcd.print(dirRoll);
    }
```

Kode program dimulai dengan fungsi `*loop()*` yang menjalankan sistem secara terus-menerus setelah `*setup()*` selesai, selanjutnya fungsi `*mpu.update()*` untuk memperbarui pembacaan data dari sensor MPU6050. Nilai sudut *Pitch* dan *Roll* diperoleh melalui `*getAccAngleX()*` dan `*getAccAngleY()*`, kemudian dikoreksi dengan `*pitchOffset*` dan `*rollOffset*` untuk menghasilkan pembacaan yang akurat. Layar LCD dibersihkan menggunakan `*lcd.clear()*` agar tidak terjadi tumpang

tindih data. Sistem kemudian memeriksa apakah alat berada dalam posisi stabil, jika ya, ditampilkan pesan "Posisi Stabil!" beserta nilai nol, serta diaktifkan notifikasi suara melalui `*playStableBeep()*`. Jika tidak stabil, sistem menentukan arah kemiringan dengan simbol panah (`^`, `v`, `>`, `<`) berdasarkan nilai sudut, lalu menampilkan nilai *Pitch* dan *Roll* dalam bentuk bilangan bulat di LCD. Seluruh proses ini berulang secara *real-time*, memungkinkan pemantauan kondisi kemiringan secara kontinu dan intuitif.

d. Fungsi showLoadingScreen(), kalibrasiSensor(), dan playStableBeep()

```
void showLoadingScreen() {
  digitalWrite(buzzerPin, HIGH);
  delay(100);
  digitalWrite(buzzerPin, LOW);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Memulai...");
  for (int i = 0; i <= 100; i += 10) {
    int barLength = map(i, 0, 100, 0, 16);
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("[");
    for (int j = 0; j < barLength; j++) lcd.print("#");
    for (int j = 0; j < 16 - barLength; j++)
 lcd.print(".");
    lcd.print("] ");
    lcd.print(i);
    lcd.print("%");
    delay(150);
```

```
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0, 0);
      lcd.print("Memulai...");
    }
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Sensor Siap!");
    tone(buzzerPin, 1000);
    delay(400);
    noTone(buzzerPin);
    delay(1000);
    lcd.clear();
  }
  void kalibrasiSensor() {
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Kalibrasi");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Mohon Tunggu...");
    delay(1000);
    mpu.begin();
    for (int i = 0; i <= 100; i += 10) {
      lcd.setCursor(0, 1);
      lcd.print("Progress: ");
      lcd.setCursor(11, 1);
      lcd.print(i);
      lcd.print("%");
      delay(300);
```

```
    }
    mpu.calcGyroOffsets(); // Kalibrasi akhir
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Kalibrasi");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("Selesai!");
    tone(buzzerPin, 1200);
    delay(300);
    noTone(buzzerPin);
    delay(1000);
    lcd.clear();
  }
  void playStableBeep() {
    tone(buzzerPin, 1000);
    delay(100);
    noTone(buzzerPin);
    delay(50);
    tone(buzzerPin, 1000);
    delay(100);
    noTone(buzzerPin);
  }
```

Kode program dimulai dengan fungsi `*showLoadingScreen()*` menampilkan animasi loading di LCD dengan progress bar bertahap dari 0% hingga 100%, disertai bunyi pendek pada awal sebagai konfirmasi sistem aktif, dan diakhiri dengan pesan "Sensor Siap!" serta bunyi panjang dari buzzer sebagai indikasi siap digunakan. Fungsi `*kalibrasiSensor()*` memulai proses kalibrasi otomatis dengan

menampilkan pesan "Kalibrasi" dan progress sederhana, selanjutnya sistem menjalankan `*mpu.begin()*` untuk inisialisasi sensor, lalu `*mpu.calcGyroOffsets()*` untuk menghitung dan mengompensasi offset giroskop, diakhiri dengan konfirmasi visual dan bunyi tinggi sebagai tanda selesai. Fungsi `*playStableBeep()*` menghasilkan dua nada pendek secara berurutan menggunakan `*tone()*` dan `*noTone()*` pada frekuensi 1000 Hz, berfungsi sebagai notifikasi suara bahwa alat berada dalam posisi stabil. Ketiga fungsi ini mendukung antarmuka yang interaktif, informatif, dan responsif selama proses inisialisasi dan pengoperasian sistem.

C. Pengujian

1. 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 dilakukan dengan menempatkan instrumen kemiringan dan smartphone secara berdampingan pada satu bidang datar yang sama, kemudian sistem diputar secara perlahan pada sumbu X (*Pitch*) dan Y (*Roll*) ke berbagai sudut tertentu, mulai dari 0° hingga ±30° dengan kenaikan 5°. Setiap sudut diuji sebanyak lima kali pengulangan untuk memastikan konsistensi pembacaan dan mengurangi

kesalahan acak. Selama pengujian, posisi alat dijaga agar tidak mengalami getaran atau pergerakan mendadak, guna menghindari noise pada pembacaan sensor.

Data yang diperoleh dari instrumen kemiringan dibaca melalui layar LCD dan dicatat secara manual, sementara data dari smartphone direkam secara otomatis oleh aplikasi sensor. Nilai sudut dari kedua perangkat kemudian dibandingkan untuk menghitung selisih (error) dan menilai tingkat akurasi sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa instrumen kemiringan mampu memberikan pembacaan yang sangat mendekati data dari smartphone, dengan rata-rata deviasi kurang dari ±1,5° setelah dilakukan koreksi kalibrasi.

Selain itu, sistem juga diuji dalam kondisi posisi stabil (0°) untuk mengevaluasi kemampuan deteksi "Posisi Stabil" dan respons buzzer. Saat alat diletakkan pada permukaan yang benar-benar datar, sistem berhasil mendeteksi bahwa sudut Pitch dan Roll berada dalam rentang ±1°, sehingga menampilkan pesan “Posisi Stabil!” pada LCD dan mengaktifkan notifikasi suara berupa dua bunyi pendek dari buzzer. Pengujian ini dilakukan pada berbagai permukaan (meja kayu, lantai keramik, dan alas karet) untuk memastikan konsistensi kinerja alat dalam lingkungan yang berbeda.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki respons yang cepat, stabil, dan responsif terhadap perubahan orientasi. Meskipun terdapat sedikit perbedaan dengan data smartphone akibat noise sensor dan perbedaan algoritma fusi data, perbedaan tersebut masih berada dalam batas toleransi untuk aplikasi non-industri. Dengan demikian, instrumen kemiringan yang dikembangkan terbukti

akurat, andal, dan layak digunakan sebagai alat ukur sudut sederhana dalam bidang pendidikan, robotika, atau sistem balancing.

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.



0

Gambar 4. 7 Ilustrasi pengujian instrumen kemiringan pada kemiringan 30°

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.

Perbedaan kecil antara pembacaan alat dan smartphone disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain noise sensor, perbedaan algoritma fusi data (smartphone menggunakan sensor fusion canggih, sedangkan alat menggunakan complementary filter sederhana), serta keterbatasan resolusi pada pembacaan akselerometer. Dari hasil pengujian, 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.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa instrumen kemiringan yang dikembangkan mampu bekerja sesuai harapan, dengan kemampuan deteksi sudut yang responsif, stabil, dan akurat dalam rentang pengukuran yang telah ditentukan. Validasi menggunakan smartphone sebagai alat referensi membuktikan bahwa sistem dapat diandalkan untuk aplikasi nyata, selama dilakukan kalibrasi awal dan digunakan dalam kondisi lingkungan yang stabil.

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Komparatif Instrumen Kemiringan vs Smartphone Android

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

2. 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). Dengan pendekatan ini, terbentuk segitiga siku-siku, Untuk memastikan keakuratan, ketinggian (h) diukur menggunakan mistar baja dengan ketelitian ±0,1 cm, dan pengukuran dilakukan secara tegak lurus terhadap permukaan. Instrumen kemiringan berbasis MPU6050 dan Arduino Nano ditempatkan rata di atas papan, sedekat mungkin dengan pusat gravitasi papan, untuk meminimalkan efek getaran atau ketidakseimbangan posisi.

Dalam pengujian ini, panjang papan tetap 30 cm (konstan), sehingga panjang alas (b) dapat dihitung menggunakan Teorema Pythagoras:

$$b = \sqrt{L^2 - h^2}$$

di mana:

L=30cm (panjang papan/hipotenusa)

h = ketinggian ujung papan (cm)

b = panjang alas (cm)

Hasil pengujian pada lima variasi ketinggian disajikan dalam Tabel 4.5.

Tabel 4. 2 Perbandingan: Perhitungan Geometri vs Pembacaan 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

Dari tabel tersebut terlihat bahwa pembacaan alat sangat mendekati hasil perhitungan geometri, dengan rata-rata selisih hanya 0,32° dan maksimal 0,5°. Selisih kecil ini dapat disebabkan oleh:

- Ketidakrataan permukaan papan
- Kesalahan minor dalam pengukuran h dan b
- Noise sensor MPU6050
- Kalibrasi alat yang belum sempurna

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.

BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa :

1. Dalam merancang sensor yang efektif untuk menggabungkan data dari accelerometer dan gyroscope, pendekatan fusi sensor berbasis complementary filter terbukti menjadi solusi yang efisien dan akurat. Metode ini memanfaatkan kelebihan masing-masing sensor: accelerometer yang stabil dalam jangka panjang namun rentan terhadap noise saat bergetar, serta gyroscope yang responsif terhadap perubahan cepat namun mengalami drift seiring waktu. Dengan menggabungkan data keduanya secara proporsional, sistem mampu menghasilkan pembacaan sudut kemiringan (Pitch dan Roll) yang lebih stabil dan akurat. Kalibrasi awal secara otomatis menggunakan fungsi mpu.calcGyroOffsets() dan koreksi offset manual lebih lanjut berhasil meminimalisasi error sistematis, sehingga deviasi rata-rata terhadap data referensi hanya sebesar 0,33° pada pengujian sudut tetap (0°–90°), dan 0,32° pada pengujian geometri berbasis ketinggian. Berdasarkan data tersebut, akurasi sistem dapat dihitung sebesar 99,63%. Dengan demikian, algoritma pemrosesan sinyal yang dirancang mampu menghasilkan pembacaan yang konsisten, responsif, dan minim error, bahkan dalam kondisi dinamis sekalipun.

2. Pengembangan sistem akuisisi data dan antarmuka telah berhasil mengkonversi data mentah sensor menjadi informasi sudut kemiringan yang presisi, cepat, dan mudah diinterpretasi oleh pengguna. Sistem akuisisi data berbasis Arduino Nano mampu membaca data dari MPU6050 secara real-time melalui komunikasi I2C, memprosesnya dengan delay minimal, serta menampilkan hasil dalam format yang intuitif pada LCD 16x2. Antarmuka dirancang secara interaktif dengan fitur animasi loading screen, progress bar kalibrasi, indikasi arah miring menggunakan simbol panah (^, v, >, <), serta notifikasi suara melalui buzzer saat posisi stabil. Desain ini memungkinkan pengguna memahami kondisi alat secara visual dan audio tanpa memerlukan interpretasi teknis lanjutan. Dengan kombinasi antara kecepatan pemrosesan, akurasi pembacaan, dan keterbacaan tampilan, sistem ini terbukti mampu menyajikan data kemiringan secara efektif untuk aplikasi edukasi, robotika, dan monitoring struktur sederhana.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian ini, berikut adalah beberapa saran untuk pengembangan lebih lanjut :

1. Gunakan Kalman Filter untuk fusi sensor agar lebih akurat dan stabil dibanding complementary filter.
2. Tambahkan modul Bluetooth (HC-05) untuk kirim data ke smartphone secara real-time.
3. Ganti LCD 16x2 dengan OLED
4. 128x64 untuk tampilan lebih informatif dan modern.

5. Tambahkan SD card module untuk menyimpan data pengukuran secara otomatis.
6. Implementasi kalibrasi otomatis saat startup agar tidak perlu offset manual.

DAFTAR PUSTAKA

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)