

**PENENTUAN PERCEPATAN GRAVITASI BUMI DENGAN METODE  
BANDUL SEDERHANA BERBASIS *ARDUINO* UNO**

**SKRIPSI**

Oleh:

**YUNIKA DEVI PRATIWI**  
**NIM. 18640017**



**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**PENENTUAN PERCEPATAN GRAVITASI BUMI DENGAN METODE  
BANDUL SEDERHANA BERBASIS *ARDUINO* UNO**

**SKRIPSI**

**Diajukan kepada:  
Fakultas Sains dan Teknologi  
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang  
kUntuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan Dalam  
Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)**

**Oleh:  
YUNIKA DEVI PRATIWI  
NIM. 18640017**

**PROGRAM STUDI FISIKA  
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI  
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM  
MALANG  
2025**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**PENENTUAN PERCEPATAN GRAVITASI BUMI DENGAN METODE  
BANDUL SEDERHANA BERBASIS *ARDUINO UNO***

**SKRIPSI**

Oleh :  
**YUNIKA DEVI PRATIWI**  
NIM. 18640017

Telah Diperiksa dan Disetujui  
Pada Tanggal: 19 Juni 2025

**Pembimbing I**

  
**Farid Samsu Hananto, M.T**  
NIP.19740513 200312 1 001

**Pembimbing II**

  
**Rusfi, M.Si**  
NIP.19880715 202012 1 003

Mengetahui,  
Ketua Program Studi Fisika

  
**Muhammad Tazi M.Si**  
NIP.19740730 200312 1 002

iii

HALAMAN PENGESAHAN

PENENTUAN PERCEPATAN GRAVITASI BUMI DENGAN METODE  
BANDUL SEDERHANA BERBASIS *ARDUINO* UNO

SKRIPSI

Oleh:  
Yunika Devi Pratiwi  
NIM. 18640017

Telah Dipertahankan Di Depan Dewan Penguji  
Dan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Sains (S.Si)  
Pada Tanggal, 19 Juni 2025

Ketua Penguji	<u>Muthmainnah, M.Si</u> NIP.19860325 201903 2 009	
Anggota Penguji	<u>Naqibatin Nadliriyah, S.Si. M.Si</u> NIP. 19920221 201903 2 020	
Dosen Pembimbing I	<u>Farid Samsu Hananto, M.T</u> NIP.19740513 200312 1 001	
Dosen Pembimbing II	<u>Rusli, M.Si</u> NIP.19880715 202012 1 003	

Mengesahkan,  
Ketua Program Studi Fisika



iv

## PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : YUNIKA DEVI PRATIWI  
NIM : 18640017  
Jurusan : FISIKA  
Fakultas : SAINS DAN TEKNOLOGI  
Judul Penelitian : Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Dengan Metode  
Bandul Sederhana Berbasis *Arduino* Uno

Menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa penelitian ini adalah hasil karya asli saya dan tidak mengandung plagiarisme dari karya penelitian atau ilmiah lain, kecuali yang telah dikutip dalam naskah ini dan tercantum dalam sumber kutipan serta daftar pustaka. Apabila di kemudian hari terbukti bahwa penelitian ini mengandung unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi atas tindakan tersebut.

Malang, 23 Juni 2025  
Yang Membuat Pernyataan



Yunika Devi Pratiwi  
NIM. 18640017

v

**MOTTO**

”لا إله إلا أنت سبحانك إني كنت من الظالمين”

## **HALAMAN PERSEMBAHAN**

Karya ini saya persembahkan untuk kedua orang tua saya, Bapak Agus Rianto dan Ibuk Siti Romlah. Terima kasih atas dukungan dan kepercayaannya selama ini, semoga apa yang telah saya capai dapat menjadi manfaat bagi Bapak dan Ibuk di dunia dan akhirat, Aamiin...

Tak lupa, karya ini juga saya persembahkan untuk kedua Mbah uti, Mbah akung (alm), Om hamda, Bulek lucky, Adek Shilvya dan Adik-adik sepupuku, serta sahabat-sahabat saya, teman-teman seperjuangan saya, dan tidak lupa untuk Orang terdekat saya. Terima kasih kepada kalian semua yang telah berkontribusi dalam terselesaikannya skripsi ini, baik secara langsung maupun secara tidak langsung.

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala rahmat dan nikmatnya berupa kesehatan, kesempatan, kekuatan, keinginan, serta kesabaran, sehingga penulis dapat menyelesaikan proposal skripsi ini dengan baik. Proposal skripsi yang telah penulis susun ini berjudul “Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Dengan Metode Bandul Sederhana Berbasis *Arduino Uno*”.

Sholawat serta salam penulis panjatkan kepada Rasulullah Muhammad SAW, yang telah menuntun manusia dari zaman jahiliyah menuju zaman yang terang benderang dan penuh dengan ilmu pengetahuan yang luar biasa saat ini. Penulis menyadari bahwa penulisan skripsi ini tidak akan tersusun dengan baik tanpa adanya bantuan dari pihak-pihak yang terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis dalam penyusunan penulisan proposal skripsi ini.

Selanjutnya kami ucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. H. M. Zainuddin, M.A. selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. Hj. Sri Harini, M.Si selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Imam Tazi, M.Si selaku Ketua Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
4. Farid Samsu Hananto, M.T. selaku Dosen Pembimbing 1 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
5. Rusli, M.Si. selaku Dosen Pembimbing 2 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

6. Muthmainnah, M.Si. selaku Dosen Penguji 1 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
7. Naqibatin Nadliriyah, S.Si. M.Si. selaku Dosen Penguji 2 Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Segenap Dosen Jurusan Fisika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah bersedia mengamalkan ilmunya, membimbing, dan memberikan pengarahan selama perkuliahan.
9. Ayah, Mama, Nenek, Kakek (alm), adik dan keluarga yang selalu mendoakan serta memberi dukungan yang berharga disetiap langkah penulis.
10. Segenap sahabat – sahabat terdekat saya dari SMA sampai saat ini dan orang yang saya sayangi yang telah mendukung dan mendoakan saya.
11. Segenap anggota teman-teman Instrumentasi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang yang telah membantu penyusunan skripsi ini.
12. Sahabat-sahabat fisika 2018 dan semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini yang tidak dapat saya sebutkan satu persatu.

Malang, 23 Juni 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>COVER</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>vi</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN</b> .....	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	<b>xiv</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>xv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>xvi</b>
<b>المخلص</b> .....	<b>xvii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Gravitasi dan Percepatan Gravitasi .....	6
2.2 Ayunan Bandul Sederhana .....	8
2.3 Gerak Harmonik Sederhana (GHS).....	10
2.4 Penggunaan <i>Arduino</i> dalam Pengukuran.....	11
2.5 Metode Eksperimen.....	13
<b>BAB III METODE PENELITIAN</b> .....	<b>16</b>
3.1 Jenis Penelitian .....	16
3.2 Waktu dan Tempat Penelitian .....	16
3.3 Alat dan Bahan .....	16
3.4 Prosedur Penelitian.....	17
3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan .....	17
3.4.2 Pengaturan Program .....	17
3.4.3 Prosedur Pengambilan Data .....	18
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	18
3.5.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	19
3.5.2 Diagram Alir Pembuatan Objek Pengamatan .....	23
3.5.3 Diagram Alir Pengambilan Data .....	24
3.5.4 Diagram Alir Pengukuran Data.....	25
3.6 Prosedur Perancangan Alat.....	26
3.7 Ketentuan Akurasi dan Kalibrasi Alat.....	28

3.7.1	Penentuan Akurasi .....	29
3.7.2	Kalibrasi Alat .....	29
3.8	Metode Pengambilan Data .....	30
3.9	Metode Pengolahan Data.....	33
3.10	Metode Analisis Data .....	35
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>37</b>
4.1	Data Hasil Penelitian .....	37
4.2	Pembuatan Sistem Bandul Sederhana Berbasis <i>Arduino</i> Uno .....	37
4.2.1	Perakitan Perangkat Keras .....	37
4.2.2	Pemrograman Perangkat Lunak.....	39
4.2.3	Pengujian Awal Sistem .....	41
4.3	Hasil Pengujian.....	42
4.3.1	Hasil Pengujian Sistem .....	43
4.3.2	Hasil Pengujian Fungsionalitas .....	46
4.4	Pembahasan .....	48
4.5	Kajian Keislaman .....	49
<b>BAB V PENUTUP .....</b>		<b>52</b>
5.1	Kesimpulan.....	52
5.2	Saran.....	53
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>55</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>		<b>57</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Arduino</i> Uno.....	12
Gambar 3. 1 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	19
Gambar 3. 2 Diagram Alir Pembuatan Objek Pengamatan .....	23
Gambar 3. 3 Diagram Alir Pengambilan Data .....	24
Gambar 3.4 Diagram Alir Pengukuran Data.....	25
Gambar 3.5 Diagram Blok Perancangan Alat.....	26
Gambar 3. 6 Skema Perancangan Alat.....	27
Gambar 4.1 Alat Bandul Sederhana Menggunakan <i>Arduino</i> Uno.....	38
Gambar 4. 2 Pengujian Awal Sistem .....	42
Gambar 4.3 Std Deviasi Data.....	44

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Tabel Pengambilan Data .....	32
Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sistem Bandul Sederhana .....	43
Tabel 4.2 Akurasi Sistem .....	45
Tabel 4. 3 Hasil pengujian Fungsionalitas .....	46

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Gambar .....	58
Lampiran 2 Source Code.....	59
Lampiran 3 Pengambilan Data.....	61

## ABSTRAK

Pratiwi, Yunika Devi. 2025. **Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Dengan Metode Bandul Sederhana Berbasis *Arduino* Uno**. Skripsi. Jurusan Fisika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Farid Samsu Hananto, M.T\_(II) Rusli, M.Si

---

**Kata Kunci:** percepatan gravitasi, bandul sederhana, *Arduino* Uno, eksperimen fisika

Percepatan gravitasi merupakan parameter fisika fundamental yang penting dalam berbagai aplikasi ilmiah dan pendidikan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pengukuran percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana berbasis mikrokontroler *Arduino* Uno. Metode penelitian yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif dengan pendekatan pengukuran periode ayunan bandul menggunakan sensor inframerah yang terintegrasi dalam sistem otomatis berbasis *Arduino*. Data diperoleh melalui pengamatan ayunan bandul dengan panjang tali 30 cm, 40 cm, dan 50 cm, dan dianalisis menggunakan persamaan fisika gerak harmonik sederhana. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi ayunan dan menghitung percepatan gravitasi dengan nilai rata-rata mendekati  $9,8 \text{ m/s}^2$ , yaitu berkisar antara  $9,67$  hingga  $9,78 \text{ m/s}^2$ , dengan tingkat error terendah sebesar  $0,17\%$  dan tertinggi  $1,31\%$ . Nilai standar deviasi yang rendah menunjukkan konsistensi data dan ketelitian sistem. Implementasi teknologi *Arduino* meningkatkan akurasi, efisiensi, dan otomatisasi dalam eksperimen fisika dasar. Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem bandul sederhana berbasis *Arduino* dapat dijadikan alternatif alat bantu praktikum fisika yang akurat dan edukatif, serta mendukung pengembangan pembelajaran berbasis teknologi di lingkungan akademik.

## ABSTRACT

Pratiwi, Yunika Devi. 2025. **Determination of Earth's Gravitational Acceleration Using a Simple Pendulum Method Based on Arduino Uno**. Thesis. Physics Department, Faculty of Science and Technology, Maulana Malik Ibrahim State Islamic University, Malang. Advisor: (I) Farid Samsu Hananto, M.T\_(II) Rusli, M.Si

---

**Keywords:** gravitational acceleration, simple pendulum, *Arduino* Uno, physics experiment

Gravitational acceleration is a fundamental physical parameter essential in various scientific and educational contexts. This study aims to design and implement a measurement system for Earth's gravitational acceleration using a simple pendulum method integrated with an *Arduino* Uno microcontroller. The research employs an experimental quantitative approach by measuring the oscillation period of a pendulum at different string lengths (30 cm, 40 cm, and 50 cm) using an infrared sensor and automated data processing via *Arduino*. The acquired data were analyzed using the principles of simple harmonic motion. The experimental results indicate that the system is capable of accurately detecting oscillations and calculating gravitational acceleration, yielding values ranging from 9.67 to 9.78 m/s<sup>2</sup> with a minimal error rate between 0.17% and 1.31%. The low standard deviation across multiple trials confirms the consistency and reliability of the measurements. The integration of *Arduino* technology significantly enhances the precision, efficiency, and automation of basic physics experiments. This study concludes that the *Arduino*-based simple pendulum system provides a reliable and educationally valuable alternative for gravitational measurement in physics laboratories, supporting the advancement of technology-assisted learning environments.

## المخلص

براتبوي، يونيكا ديفي. ٢٠٢٥. تحديد عجلة الجاذبية الأرضية باستخدام طريقة البندول البسيط المعتمد على أردوينو أونو . رسالة جامعية. قسم الفيزياء، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية، مالانج. المشرفان : ١ فريد سامسو حننتو، ماجستير في التكنولوجيا ٢ رسلي، ماجستير في العلوم

---

فيزيائية تجرية أونو، أردوينو بسيط، بندول الجاذبية، عجلة: المفتاحية الكلمات

تُعَدُّ عجلة الجاذبية الأرضية من المعايير الفيزيائية الأساسية التي تُستخدم على نطاق واسع في التطبيقات العلمية والتعليمية . تهدف هذه الدراسة إلى تصميم وتنفيذ نظام لقياس عجلة الجاذبية الأرضية باستخدام طريقة البندول البسيط المعتمدة على المتحكم الدقيق " أردوينو أونو . "استخدمت الدراسة منهجًا تجريبيًا كميًا من خلال قياس فترة تذبذب بندول بأطوال مختلفة (30 سم، 40 سم، 50 سم) باستخدام حساس الأشعة تحت الحمراء، ومعالجة البيانات تلقائيًا بواسطة الأردوينو . وقد تم تحليل البيانات باستخدام قوانين الحركة التوافقية البسيطة . أظهرت النتائج أن النظام قادر على قياس عجلة الجاذبية بدقة، حيث تراوحت القيم بين 9.67 و9.78 م/ث<sup>2</sup>، مع نسبة خطأ تتراوح بين 0.17% و1.31%. كما أظهرت الانحرافات المعيارية المنخفضة اتساق البيانات وموثوقية النظام . ساهم دمج تكنولوجيا الأردوينو في تحسين دقة التجارب الفيزيائية الأساسية وكفاءتها وأتمتتها . وتخلص الدراسة إلى أن نظام البندول البسيط المعتمد على الأردوينو يمكن أن يكون أداة موثوقة وفعالة تعليمياً لتجارب الفيزياء في المختبرات، كما يدعم بيئة التعلم المدعومة بالتكنولوجيا .

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Percepatan gravitasi Bumi merupakan salah satu parameter fisika yang penting dalam berbagai bidang ilmu. Sedangkan metode bandul sederhana dapat digunakan untuk mengukur percepatan gravitasi dengan akurasi yang baik.

Adapun sebuah benda yang digantung dengan tali atau benang, ketika diberikan simpangan sebesar  $\theta$ , akan berosilasi saat dilepaskan. Osilasi adalah gerakan bolak-balik suatu benda hingga kembali ke titik keseimbangannya. Dalam percobaan ini, yang akan dibahas adalah gerak osilasi pada ayunan bandul, yang merupakan salah satu bentuk gerak harmonik sederhana. Gerak bandul ini terjadi dengan amplitudo kecil.

Bandul sederhana adalah benda ideal yang terdiri dari massa  $m$  yang digantung pada tali  $\ell$  yang ringan. Tali ini tidak mengalami peregangan atau perubahan panjang. Ketika bandul ditarik ke samping dari titik keseimbangannya dan dilepaskan, bandul akan berayun dalam bidang vertikal akibat pengaruh gaya gravitasi bumi. Konsep gravitasi dan keteraturan alam ini mengingatkan kita pada ayat dalam Al-Qur'an, Surah Al-Anbiya (21:33) yang menyatakan bahwa Allah menciptakan siang dan malam pada waktunya masing-masing.

يَسْبَحُونَ فَلكِ فِي كُلِّ ۖ وَالْقَمَرَ وَالشَّمْسَ وَالنَّهَارَ اللَّيْلَ خَلَقَ الَّذِي وَهُوَ

*"Dan Dialah yang telah menciptakan malam dan siang, matahari dan bulan. Masing-masing dari keduanya itu beredar di dalam garis edarnya."*

Secara ringkas, arti dari Surah Al-Anbiya ayat 33 memberikan informasi bahwasannya Garis edar yang dimaksud yaitu Ayat pertama yang menyebutkan tentang garis edar matahari dan bulan, yang dapat diinterpretasikan sebagai referensi tentang gaya gravitasi yang mempengaruhi pergerakan benda-benda langit.

Bandul sederhana atau ayunan matematis dapat dipahami sebagai partikel bermassa  $m$  yang tergantung pada suatu titik tetap dari seutas tali yang massanya diabaikan dan tidak dapat bertambah panjang, dengan panjang tali  $\ell$ . Gaya yang bekerja pada benda tersebut terdiri dari berat  $mg$  dan tegangan  $T$  pada tali. Ketika gaya-gaya yang bekerja pada massa  $m$  diuraikan menjadi komponen radial dan tangensial, resultan gaya radial bertindak sebagai gaya yang diperlukan agar benda tetap bergerak melingkar, sedangkan resultan gaya tangensial berfungsi sebagai gaya pemulih yang mengembalikannya ke titik keseimbangan (Giancoli, 2007).

Di era teknologi saat ini, penggunaan mikrokontroler seperti *Arduino* telah mempermudah pengukuran fisika dengan meningkatkan akurasi dan efisiensi pengambilan data. *Arduino* dapat digunakan untuk mengukur waktu periode osilasi bandul dengan sangat tepat, dan data tersebut dapat diproses secara real-time. Dengan memanfaatkan sensor, seperti sensor accelerometer atau sensor waktu, kita dapat memperoleh hasil yang lebih akurat dan cepat.

Penggunaan *Arduino* dalam eksperimen ini tidak hanya meningkatkan ketepatan pengukuran, tetapi juga memberikan pengalaman belajar yang menarik bagi siswa. Siswa dapat belajar mengenai prinsip fisika dasar, pemrograman, dan teknik pengolahan data secara bersamaan. Selain itu, eksperimen ini dapat

meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep gravitasi dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari.

Berdasarkan penjelasan di atas, percobaan ini bertujuan untuk menentukan percepatan gravitasi bumi dengan metode ayunan bandul. Penelitian ini akan mengkaji pengaruh panjang tali terhadap periode osilasi bandul, serta pengaruh besar simpangan awal dan jenis beban terhadap nilai  $g$  yang diperoleh.

## 1.2 Rumusan Masalah

1. Bagaimana rancangan sistem pengukuran gravitasi bumi menggunakan alat bandul sederhana yang dikontrol dengan *Arduino Uno*?
2. Seberapa akurat pengukuran gravitasi bumi menggunakan alat bandul sederhana yang dikontrol dengan *Arduino Uno*?

## 1.3 Tujuan

1. Untuk mengetahui rancangan sistem pengukuran gravitasi menggunakan alat bandul sederhana yang dikontrol dengan *Arduino uno*.
2. Untuk mengetahui keakurasaan pengukuran gravitasi bumi menggunakan alat bandul sederhana berbasis *Arduino uno*.

## 1.4 Batasan Masalah

1. Jenis Bandul: Percobaan ini hanya akan menggunakan bandul sederhana yang terdiri dari massa titik yang digantung pada tali ringan. Tali dianggap tidak memiliki massa dan tidak dapat bertambah panjang.
2. Variabel Beban: Penelitian ini akan membahas pengaruh beban yang berbeda, yang dibatasi pada beberapa massa yang telah ditentukan, tanpa mempertimbangkan bentuk atau material beban tersebut.

3. Panjang Tali: Panjang tali yang digunakan dalam percobaan akan dibatasi pada rentang tertentu yang telah ditentukan sebelumnya. Variasi panjang tali akan dilakukan dalam interval tertentu untuk mengamati pengaruhnya terhadap periode osilasi.
4. Pengukuran dan Peralatan: Pengukuran periode osilasi akan dilakukan menggunakan perangkat *Arduino* dan sensor yang ditentukan, dengan asumsi bahwa semua peralatan berfungsi dengan baik dan dalam kondisi kalibrasi yang benar.
5. Lingkungan Percobaan: Percobaan akan dilakukan dalam kondisi lingkungan yang relatif stabil, tanpa gangguan eksternal seperti angin atau getaran yang dapat memengaruhi hasil pengukuran.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Penelitian ini memiliki sejumlah manfaat yang signifikan, baik dalam konteks pendidikan maupun aplikasi praktis. Pertama, penelitian ini dapat memperdalam pemahaman mahasiswa dan siswa tentang konsep dasar fisika, khususnya mengenai gerak osilasi dan gravitasi. Melalui eksperimen dengan bandul sederhana, siswa dapat secara langsung mengamati dan menganalisis fenomena fisika, sehingga meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan analitis mereka.

Kedua, dengan memanfaatkan teknologi modern seperti *Arduino*, penelitian ini memberikan contoh nyata tentang bagaimana teknologi dapat digunakan untuk meningkatkan akurasi pengukuran dalam eksperimen fisika. Hal ini tidak hanya memperkenalkan siswa pada alat-alat pengukur yang canggih, tetapi juga mengajarkan mereka keterampilan pemrograman dan pengolahan data yang relevan di era digital saat ini.

Ketiga, hasil penelitian ini dapat memberikan informasi yang berguna bagi pengembangan alat pendidikan yang lebih interaktif dan menarik, sehingga dapat meningkatkan motivasi belajar siswa. Selain itu, pemahaman yang lebih baik tentang pengaruh panjang tali, simpangan awal, dan jenis beban terhadap percepatan gravitasi dapat berkontribusi pada penelitian lebih lanjut di bidang fisika dan teknik.

Secara keseluruhan, penelitian ini tidak hanya bertujuan untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi, tetapi juga untuk memperkaya pengalaman belajar dan membangun fondasi yang kuat bagi pengembangan ilmu pengetahuan di kalangan generasi muda.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Gravitasi dan Percepatan Gravitasi

Gravitasi adalah gaya tarik-menarik antara dua benda yang memiliki massa (Halliday, Resnick, & Walker, 2014). Di permukaan Bumi, percepatan gravitasi ( $g$ ) secara umum diukur sebesar  $9,81 \text{ m/s}^2$ . Nilai ini bervariasi tergantung pada lokasi di permukaan Bumi, tetapi dapat dianggap konstan untuk keperluan eksperimen sederhana (Giancoli, 2016). Gaya gravitasi dapat dinyatakan dengan rumus:

$$F_g = m \cdot g \quad (2.1)$$

di mana ( $F_g$ ) adalah gaya gravitasi, ( $m$ ) adalah massa benda, dan ( $g$ ) adalah percepatan gravitasi (Serway & Jewett, 2018).

Gravitasi merupakan salah satu dari empat gaya dasar dalam fisika dan dapat dijelaskan dengan hukum gravitasi universal yang dirumuskan oleh Isaac Newton. Menurut hukum ini, setiap partikel di alam semesta saling menarik satu sama lain dengan gaya yang berbanding lurus dengan hasil kali massa kedua benda dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara keduanya (Tipler & Mosca, 2007). Rumus hukum gravitasi universal adalah:

$$F = G \frac{m_1 \times m_2}{r^2} \quad (2.2)$$

di mana ( $F$ ) adalah gaya gravitasi, ( $G$ ) adalah konstanta gravitasi universal ( $6.674 \times 10^{-11} \text{ N(m/kg)}^2$ ), ( $m_1$ ) dan  $m_2$  adalah massa kedua benda, dan ( $r$ ) adalah jarak antara pusat massa kedua benda (Feynman, Leighton, & Sands, 2011).

Percepatan gravitasi pada jarak (  $r$  ) dari pusat massa dapat dihitung dengan rumus:

$$g = G \frac{M}{r^2} \quad (2.3)$$

di mana (  $M$  ) adalah massa planet, seperti Bumi, dan (  $r$  ) adalah jarak dari pusat planet ke objek (Halliday, Resnick, & Walker, 2014).

Sedangkan dalam konteks percobaan fisika, percepatan gravitasi dapat diukur menggunakan bandul sederhana. Dengan menggunakan rumus: (Halliday, Resnick, & Walker, 2014)

$$G \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (2.4)$$

$L$  = panjang tali bandul (m).

$T$  = periode osilasi (waktu yang diperlukan untuk satu kali ayunan, dalam detik).

Adapun beberapa factor yang mempengaruhi gravitasi diantaranya yang pertama adalah ketinggian, dimana percepatan gravitasi berkurang seiring dengan bertambahnya ketinggian dari permukaan Bumi. Yang kedua yaitu kepadatan bumi, variasi dalam kepadatan Bumi di berbagai lokasi dapat menyebabkan variasi kecil dalam nilai  $g$  (Giancoli, 2007).

Penentuan nilai gravitasi bumi dapat dilakukan dengan beberapa metode, seperti metode pegas yang digabungkan dengan sensor ultrasonik dan dinilai cukup efektif dalam menentukan percepatan gravitasi karena memiliki tingkat validasi di atas nilai 85% (Muspa R., & Suwondo N., 2020). Metode lainnya yaitu metode dengan menggunakan mesin Atwood yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya, dengan menggabungkan mesin Atwood dan mikrometer STM32, metode ini dinilai efektif karena dapat menampilkan data berupa waktu yang akurat

serta memiliki tingkat ketepatan mencapai 95% (Widyaseno H., D., & Susilo., 2022). Pada penelitian ini, metode yang kami gunakan yaitu metode pendulum, atau lebih dikenal dengan istilah bandul sederhana. Selain karena mudah untuk mendapatkan data, alat untuk melakukan percobaan mudah untuk didapatkan dan digunakan. Bandul sederhana yaitu sebuah alat praktikum yang terdiri dari: (1) Benda yang digantung, dimana benda tersebut merupakan sebuah beban. (2) Tali untuk menggantung beban tersebut. Beban yang digantung pada tali tersebut dapat berayun secara bebas sehingga bisa menghasilkan sebuah periode.

## 2.2 Ayunan Bandul Sederhana

Contoh dari gerak osilasi adalah gerak osilasi pada bandul, dimana gerak bandul merupakan gerak harmonik sederhana yang memiliki amplitudo kecil. Bandul sederhana atau ayunan matematis merupakan sebuah partikel yang bermassa  $m$  yang bergantung pada suatu titik tetap dari seutas tali yang massanya diabaikan dan tali ini tidak dapat bertambah panjang. Gaya yang bekerja pada beban adalah beratnya  $mg$  dan tegangan  $T$  pada tali. Tegangan tali disebabkan oleh komponen berat  $F_n = mg \cos \theta$ , sedangkan komponen  $mg \sin \theta$  bekerja untuk melawan simpangan.  $Mg \sin \theta$  inilah yang dinamakan gaya pemulih ( $F_r$ ). Jika bandul tersebut berayun secara kontinu pada titik tetap ( $0$ ) dengan gerakan melewati titik kesetimbangan  $c$  sampai berbalik ke  $B'$  ( $B$  dan  $B'$  simetris satu sama lain) dengan sudut simpangan  $\theta^0$  relatif kecil maka terjadi ayunan harmonis sederhana (Giancoli,2007).

Ketika suatu benda dilepaskan dari ketinggian tertentu, benda tersebut akan jatuh dan bergerak menuju pusat Bumi. Percepatan yang dialami oleh benda yang

jatuh ini disebabkan oleh gaya gravitasi Bumi. Percepatan yang dialami oleh benda yang jatuh ini disebabkan oleh gaya gravitasi Bumi.

Al-Quran mengisyaratkan adanya gravitasi dan dampaknya meskipun tidak secara eksplisit menggunakan istilah “gravitasi”. Beberapa ayat Al-Quran menunjukkan adanya gaya yang menarik benda-benda langit dan bumi, serta bagaimana Allah SWT menahan langit agar tidak jatuh kebumi. Ayat-ayat ini menunjukkan pemahaman tentang keteraturan dan keseimbangan alam semesta yang dipengaruhi oleh gaya tarik menarik. Berikut salah satu surat Al-Quran yang tidak secara langsung menjelaskan gaya gravitasi, tetapi ayat dibawah ini menunjukkan pemahaman tentang gaya tarik menarik dan keteraturan alam semesta yaitu surat Al-Hajj ayat 65 yang berbunyi:

أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ سَخَّرَ لَكُمْ مَّا فِي الْأَرْضِ وَالْفُلْكَ بَجَرِّ فِي الْبَحْرِ بِأَمْرِهِ ۗ إِنَّهُ يَوْمِئِذٍ عَلِيمٌ ۚ  
تَقَعُ عَلَى الْأَرْضِ إِلَّا بِإِذْنِهِ ۗ إِنَّ اللَّهَ بِالنَّاسِ لَرَءُوفٌ رَّحِيمٌ ﴿٦٥﴾

*“Tidakkah engkau memperhatikan bahwa Allah menundukkan bagimu apa yang ada di bumi dan kapal yang berlayar di laut dengan perintah-Nya. Dia menahan (benda-benda) langit sehingga tidak jatuh ke bumi, kecuali dengan izin-Nya? Sesungguhnya Allah benar-benar Maha Penyantun lagi Maha Penyayang kepada manusia.” (QS. Al-Hajj ayat 65).*

Dapat kita fahami bahwasannya Al-Quran dan sains dapat dilihat sebagai dua perspektif yang berbeda dalam memahami fenomena gravitasi, dengan Al-Quran memberikan pemahaman tentang hukum-hukum alam.

Pada ilmu sains sendiri, percepatan gravitasi dapat diukur melalui berbagai metode eksperimen, salah satunya adalah dengan menggunakan ayunan bandul matematis. Bandul ini terdiri dari titik massa (m) yang digantung dengan seutas tali yang diabaikan massanya, dengan ujung atas tali terikat pada suatu titik tetap.

Dalam sistem bandul sederhana, benda bergerak dalam sumbu yang hanya dipengaruhi oleh gravitasi Bumi, dan periode ayunan dapat ditentukan menggunakan persamaan tertentu. Periode ((T)) ayunan bandul sederhana dapat dihitung dengan rumus: (Halliday, 2005)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2.5)$$

di mana:

(T) = periode osilasi

(l) = panjang tali

(g) = percepatan gravitasi

Rumus ini berlaku untuk simpangan kecil (( $\theta < 15^\circ$ )) di mana gaya pemulih (gaya yang mengembalikan bandul ke posisi keseimbangannya) dapat dianggap linier.

### 2.3 Gerak Harmonik Sederhana (GHS)

Gerak harmonik sederhana adalah gerakan bolak-balik yang terjadi di sekitar titik keseimbangan dengan frekuensi tetap (Giancoli, 2016). Dalam konteks bandul, gerakan ini dipengaruhi oleh gaya pemulih yang sebanding dengan simpangan dari posisi keseimbangan. Gaya pemulih ( $F_r$ ) dapat dinyatakan sebagai:

$$F_r = -k \cdot x \quad (2.6)$$

di mana (k) adalah konstanta pegas dan (x) adalah simpangan dari posisi keseimbangan (Halliday, Resnick, & Walker, 2014).

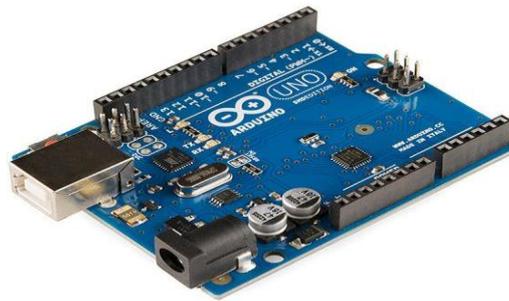
Ketika suatu benda bergerak bolak-balik terhadap suatu titik tertentu, benda tersebut disebut bergetar. Dalam fisika dasar, terdapat beberapa jenis gerakan bergetar, salah satunya adalah gerak harmonik sederhana (GHS) (Tipler & Mosca,

2007). GHS merupakan gerakan bolak-balik suatu benda melalui titik kesetimbangan tertentu, di mana frekuensi getaran benda tetap konstan setiap detiknya (Feynman, Leighton, & Sands, 2011). Gerak harmonik sederhana terjadi akibat adanya gaya pemulih yang bekerja. Gaya ini disebut gaya pemulih karena selalu berlawanan arah dengan perubahan posisi benda, berusaha mengembalikannya ke titik kesetimbangan (Giancoli, 2016).. Oleh karena itu, gerakan harmonik dapat terjadi. Dalam pengertian yang lebih sederhana, kita anggap tidak ada gaya disipatif yang mempengaruhi, seperti gaya hambat dari udara atau gesekan antara komponen sistem (seperti pegas dan beban) atau antara pegas dan titik tetapnya (Serway & Jewett, 2018).

#### **2.4 Penggunaan *Arduino* dalam Pengukuran**

Teknologi *Arduino* digunakan dalam penelitian ini untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengukuran waktu periode osilasi. *Arduino* adalah platform elektronik open-source yang sangat populer untuk pengembangan proyek interaktif (Miller, 2015). Ini terdiri dari dua komponen utama: perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software). *Arduino* memungkinkan pengguna untuk membuat dan memprogram berbagai perangkat elektronik dengan mudah, bahkan bagi mereka yang tidak memiliki latar belakang teknik yang kuat (Igoe, 2011).

*Arduino* juga bisa diartikan sebagai platform mikrokontroler yang memungkinkan pengambilan data secara real-time dengan menggunakan berbagai sensor, seperti sensor waktu atau photointerrupter. Dengan perangkat ini, waktu yang dibutuhkan untuk satu periode osilasi dapat diukur secara tepat, sehingga memudahkan perhitungan nilai percepatan gravitasi.



**Gambar 2.1** *Arduino Uno*

#### A. Komponen Perangkat Keras

Papan *Arduino* dilengkapi dengan mikrokontroler, yaitu chip yang bertanggung jawab untuk menjalankan program yang ditulis oleh pengguna (Banzi & Shiloh, 2014). Beberapa model papan *Arduino* yang umum digunakan antara lain:

1. *Arduino Uno*: Papan paling populer dengan 14 pin input/output digital dan 6 pin analog.
2. *Arduino Nano*: Versi lebih kecil dan ringkas yang cocok untuk proyek dengan ruang terbatas.
3. *Arduino Mega*: Papan dengan lebih banyak pin, cocok untuk proyek yang memerlukan banyak koneksi (Margolis, 2011).

Setiap papan memiliki konektor USB untuk mengunggah program dari komputer dan konektor untuk sumber daya eksternal (Igoe, 2011).

#### B. Perangkat Lunak

Pengguna dapat memprogram *Arduino* menggunakan *Arduino Integrated Development Environment (IDE)*, sebuah aplikasi yang memungkinkan penulisan, pengeditan, dan pengunggahan kode (Miller, 2015). Kode ditulis dalam bahasa pemrograman yang mirip dengan C/C++, dan ada banyak pustaka (*libraries*) yang dapat digunakan untuk mempermudah pengembangan (Snyder, 2016).

### C. Sensor dan Aktuator

*Arduino* dapat dihubungkan dengan berbagai sensor, seperti sensor suhu, sensor cahaya, dan sensor gerak, untuk mengumpulkan data dari lingkungan sekitar (Igoe, 2011). Selain itu, *Arduino* juga dapat mengendalikan aktuator, seperti motor, lampu LED, dan relay, untuk merespons data yang diterima (Banzi & Shiloh, 2014).

### D. Proyek dan Aplikasi

*Arduino* banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari robotika, automasi rumah, hingga seni interaktif. Contoh proyek sederhana termasuk:

1. Lampu Otomatis: Menggunakan sensor cahaya untuk menghidupkan atau mematikan lampu.
2. Robot Penghindar Rintangan : Menggunakan sensor ultrasonik untuk mendeteksi dan menghindari rintangan (Snyder, 2016).

### E. Komunitas dan Sumber Daya

Komunitas *Arduino* sangat besar dan aktif. Pengguna dapat menemukan banyak tutorial, forum, dan proyek contoh secara online, yang membuat belajar *Arduino* menjadi lebih mudah (Igoe, 2011). Banyak buku dan sumber daya lain juga tersedia untuk mendalami topik ini (Margolis, 2011).

## 2.5 Metode Eksperimen

Penelitian ini akan melibatkan percobaan dengan variasi beban dan panjang tali untuk mengamati pengaruhnya terhadap periode osilasi bandul. Penentuan percepatan gravitasi bumi dapat dilakukan dengan beberapa metode. Diantaranya gerak bola, system pegas dan massa, dan bandul sederhana. Disini saya menggunakan Metode bandul sederhana memiliki beberapa kelebihan

dibandingkan metode lain seperti gerak bola, sistem pegas dan massa dalam menentukan percepatan gravitasi bumi ( $g$ ). Berikut beberapa keunggulan utama:

Yang pertama, kesederhanaan alat dan bahannya. Dikarenakan bandul sederhana hanya memerlukan tali, beban (massa), dan stopwatch, sehingga lebih mudah dan murah dibandingkan sistem pegas (yang memerlukan pegas dengan konstanta tertentu) atau sistem bola gerak bebas (yang butuh alat ukur jatuh bebas atau lintasan khusus).

Yang kedua, prosedur eksperimen mudah. Karena mengukur periode bandul hanya membutuhkan pengamatan terhadap ayunan berulang, yang dapat dilakukan tanpa peralatan elektronik canggih.

Yang ketiga, meminimalisir gesekan dan hambatan udara. Jika dilakukan dengan benar (tali tipis, massa kecil tapi padat, dan sudut ayunan kecil), gaya gesek dan hambatan udara dapat diabaikan, menjadikan hasil perhitungan lebih mendekati nilai teoritis.

Yang keempat, analisis matematis lebih sederhana. Karena menggunakan rumus periode

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (2.7)$$

cukup mudah untuk digunakan dalam mencari nilai  $g$ , hanya perlu mengukur panjang tali dan waktu periode ayunan.

Yang kelima, reproduksibilitas tinggi. Apabila cara percobaan bandul bisa diulang dengan hasil yang cukup konsisten, selama panjang tali dan amplitudo tetap. Data yang diperoleh akan dianalisis untuk menentukan nilai ( $g$ ) berdasarkan variasi yang dilakukan. Dengan menggunakan data hasil pengukuran yang akurat, diharapkan dapat diperoleh nilai percepatan gravitasi yang lebih mendekati nilai

teoritis. Eksperimen ini tidak hanya bertujuan untuk menentukan nilai percepatan gravitasi, tetapi juga untuk memberikan pengalaman belajar yang interaktif bagi mahasiswa. Dengan mengintegrasikan konsep fisika dasar dan teknologi, penelitian ini diharapkan dapat meningkatkan pemahaman serta minat mahasiswa dalam ilmu pengetahuan dan teknologi.

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1 Jenis Penelitian**

Jenis penelitian ini adalah eksperimental dengan pendekatan kuantitatif. Alat yang digunakan adalah bandul sederhana yang diukur dengan *Arduino* untuk menentukan percepatan gravitasi Bumi.

#### **3.2 Waktu dan Tempat Penelitian**

Penelitian ini dimulai pada bulan Mei 2025. Tempat penelitian dilakukan di Kos Putri Griya Dw.

#### **3.3 Alat dan Bahan**

1. Proyeksi bandul sederhana
2. Meteran
3. Tali benang
4. Bola plastik pejal
5. *Arduino Uno*
6. LCD 16 x 2
7. L2C
8. Sensor Infra Merah
9. Push Battom
10. Kabel Jumper

### 3.4 Prosedur Penelitian

#### 3.4.1 Persiapan Alat dan Bahan

##### A. Pengaturan Alat:

1. Siapkan *Arduino Uno* dan hubungkan dengan LCD 16 x 2 menggunakan modul I2C.
2. Pasang sensor infra merah di dekat titik di mana bola plastik akan dipasang untuk mengukur waktu.
3. Hubungkan push button ke *Arduino* untuk memulai pengukuran.

##### B. Pembuatan Bandul:

1. Potonglah 1 benang dengan 3 variasi ukuran panjang yang berbeda, mulai dari 30 cm, 40 cm dan 50 cm.
2. Ikatkan bola plastik pejal pada salah satu ujung tali benang.
3. Ukur panjang tali benang menggunakan meteran dan catat panjangnya. Ini akan menjadi panjang bandul ( $L$ ).

##### C. Pemasangan:

1. Gantungkan tali benang dengan bola di ujungnya pada proyeksi bandul sederhana.
2. Pastikan bandul dapat bergerak bebas tanpa adanya gesekan yang signifikan.

#### 3.4.2 Pengaturan Program

##### A. Pemrograman *Arduino*:

1. Buat program di *Arduino IDE* untuk membaca sinyal dari sensor infra merah dan menghitung waktu yang dibutuhkan untuk satu ayunan lengkap.
2. Program juga harus menampilkan hasil pengukuran pada LCD 16 x 2.

##### B. Menghitung Percepatan Gravitasi:

Gunakan rumus percepatan gravitasi:

$$G = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (3.1)$$

di mana ( L ) adalah panjang tali dan ( T ) adalah waktu ayunan yang telah diukur.

### 3.4.3 Prosedur Pengambilan Data

#### A. Pengukuran Waktu:

1. Tekan push button untuk memulai pengukuran.
2. Biarkan bandul berayun selama beberapa siklus dan catat waktu yang dibutuhkan untuk beberapa ayunan (misalnya, 10 ayunan) untuk meningkatkan akurasi.

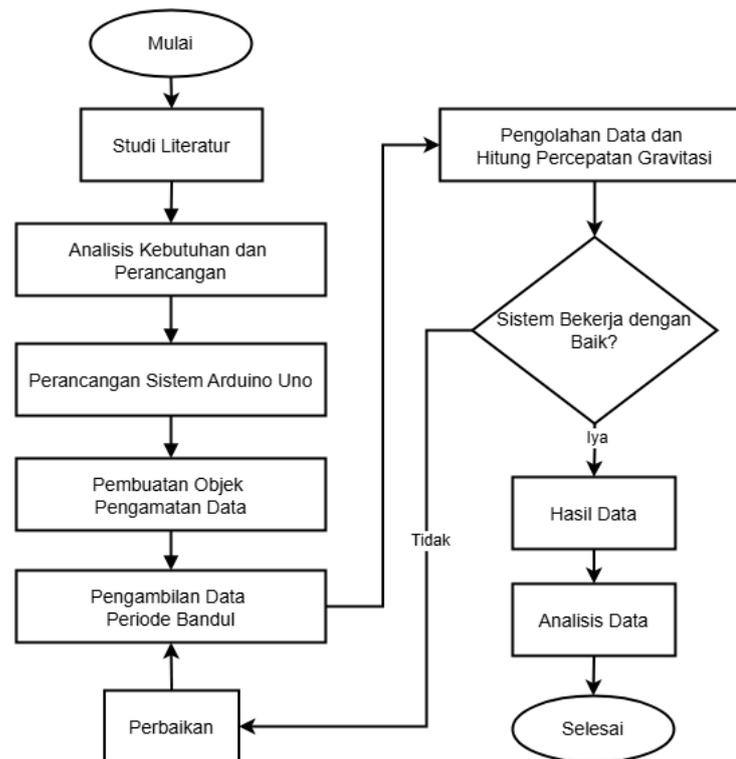
#### B. Pencatatan Data:

1. Catat waktu yang terukur dari LCD untuk perhitungan selanjutnya.
2. Ulangi pengukuran beberapa kali (misalnya, 3-5 kali) untuk mendapatkan rata-rata dan mengurangi kesalahan.

### 3.5 Diagram Alir Penelitian

Untuk memberikan gambaran yang sistematis mengenai tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini, disusun sebuah diagram alir (*flowchart*) yang menjelaskan alur kerja secara keseluruhan. Diagram alir ini mencakup proses mulai dari perancangan alat, pengumpulan data melalui pengukuran periode ayunan, hingga perhitungan percepatan gravitasi berdasarkan data yang diperoleh dengan bantuan mikrokontroler *Arduino Uno*. Tahapan-tahapan tersebut dapat ditunjukkan pada diagram alir sebagai alir sebagai berikut:

### 3.5.1 Diagram Alir Tahapan Penelitian



**Gambar 3. 1** Diagram Alir Tahapan Penelitian

Diagram alir pada Gambar 3.1 menggambarkan tahapan sistematis dalam pelaksanaan penelitian "Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi dengan Metode Bandul Sederhana Berbasis *Arduino Uno*." Berdasarkan diagram alir (*flowchart*) pada gambar tersebut, berikut adalah penjelasan langkah-langkah penelitian:

#### A. Mulai

Penelitian dimulai dengan merumuskan permasalahan dan menentukan tujuan, yaitu mengukur percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana yang dilengkapi dengan sistem berbasis *Arduino Uno*.

#### B. Studi Literatur

Pada tahap ini, peneliti melakukan pencarian dan telaah pustaka dari berbagai sumber ilmiah untuk memperoleh pemahaman teoritis tentang:

1. Konsep percepatan gravitasi,
2. Prinsip kerja bandul sederhana,
3. Hukum gerak Newton dan Hukum Hooke (jika relevan),
4. Cara kerja dan pemrograman *Arduino* Uno,
5. Penggunaan sensor dalam eksperimen fisika.

Tujuannya adalah agar landasan teori kuat dan perancangan sistem memiliki dasar ilmiah yang relevan.

#### C. Analisis Kebutuhan dan Perancangan

Peneliti melakukan identifikasi kebutuhan, baik dari aspek perangkat keras (hardware) maupun perangkat lunak (software). Hal-hal yang dianalisis meliputi:

1. Sensor apa yang digunakan (misalnya sensor cahaya atau sensor gerak),
2. Alat ukur waktu dan bagaimana sistem mendeteksi ayunan,
3. Kebutuhan daya dan kestabilan sistem.

Dari analisis ini, kemudian disusun rancangan sistem secara umum, termasuk alur kerja pengambilan data secara otomatis.

#### D. Perancangan Sistem *Arduino* Uno

Setelah kebutuhan diidentifikasi, peneliti mulai merancang rangkaian elektronik menggunakan *Arduino* Uno sebagai pusat kendali. Dalam tahap ini dilakukan:

1. Penyusunan rangkaian sensor,
2. Penulisan dan pengunggahan kode program (sketch) ke *Arduino*,
3. Pengujian dasar terhadap kerja sistem (fungsi pembacaan sensor dan pencatatan waktu).

#### E. Pembuatan Objek Pengamatan Data

Tahap ini meliputi pembuatan fisik bandul sederhana, yang biasanya terdiri dari:

1. Sebuah benang atau tali dengan panjang tertentu,
2. Beban di ujungnya sebagai massa,
3. Titik tumpu (pivot) yang stabil untuk memungkinkan ayunan bebas.

Objek ini disiapkan agar dapat memberikan ayunan periodik yang akurat sesuai dengan teori bandul.

#### F. Pengambilan Data Periode Bandul

Sistem *Arduino* yang telah dirancang digunakan untuk mencatat periode ayunan bandul (waktu yang diperlukan untuk satu kali ayunan penuh). Data yang dikumpulkan meliputi:

1. Jumlah ayunan,
2. Waktu total,
3. Panjang tali bandul.

Data ini dikumpulkan untuk beberapa panjang tali guna menguji hubungan antara panjang dan periode.

#### G. Pengolahan Data dan Hitung Percepatan Gravitasi

Setelah data dikumpulkan, dilakukan pengolahan data. Periode ayunan digunakan dalam persamaan 3.1. Proses ini bisa dilakukan secara manual atau otomatis melalui program tambahan.

#### H. Evaluasi Sistem – Apakah Sistem Bekerja dengan Baik?

Sistem diuji efektivitas dan keakuratannya. Apakah hasil yang diperoleh mendekati nilai standar percepatan gravitasi bumi ( $9.8 \text{ m/s}^2$ )? Jika tidak sesuai,

maka dilakukan perbaikan. Peneliti kembali melakukan kalibrasi sistem, memperbaiki rangkaian, atau mengubah logika program hingga sistem dapat memberikan hasil yang valid. Jika sistem berfungsi dengan baik, maka dilanjutkan ke tahap berikutnya.

#### I. Hasil Data

Data hasil pengukuran disusun dalam bentuk tabel atau grafik. Dapat berupa:

1. Grafik hubungan panjang tali vs. kuadrat periode ( $T^2$ ),
2. Perhitungan nilai rata-rata percepatan gravitasi.

#### J. Analisis Data

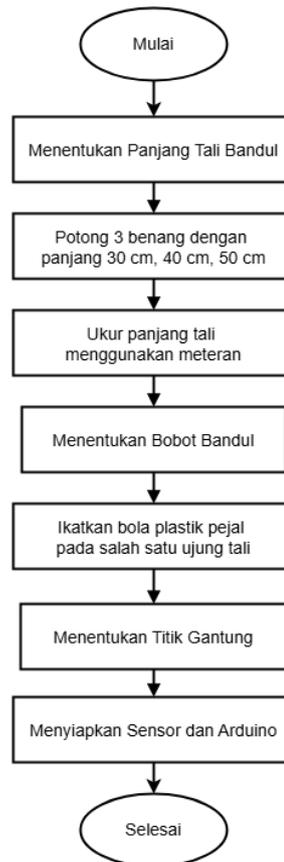
Data yang telah diperoleh dianalisis untuk melihat tingkat ketelitian dan kesesuaian dengan teori. Analisis ini mencakup:

1. Perbandingan dengan nilai teoritis,
2. Faktor-faktor penyebab kesalahan,
3. Evaluasi keunggulan sistem berbasis *Arduino* dibandingkan metode konvensional.

#### K. Selesai

Penelitian ditutup dengan simpulan hasil eksperimen dan saran untuk pengembangan selanjutnya.

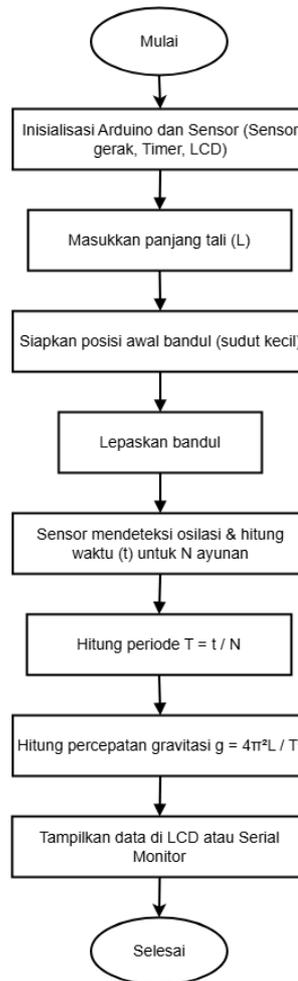
### 3.5.2 Diagram Alir Pembuatan Objek Pengamatan



**Gambar 3. 2** Diagram Alir Pembuatan Objek Pengamatan

Diagram alir pada Gambar 3.2 menunjukkan proses pembuatan objek pengamatan data untuk mengukur percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana berbasis *Arduino Uno*. Tahapan dimulai dengan pemotongan tali bandul sepanjang 30 cm, 40 cm, dan 50 cm, diikuti pengukuran panjang tali menggunakan meteran. Selanjutnya, bola plastik pejal diikatkan pada tali sebagai bandul, dan titik gantung ditentukan agar bandul dapat berayun bebas. Setelah objek pengamatan siap, sensor dan *Arduino Uno* disiapkan untuk mendeteksi waktu periode ayunan secara otomatis guna menghitung percepatan gravitasi bumi.

### 3.5.3 Diagram Alir Pengambilan Data



**Gambar 3. 3** Diagram Alir Pengambilan Data

Diagram alir pada Gambar 3.3 menggambarkan tahapan proses pengambilan data untuk menentukan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana berbasis *Arduino Uno*. Proses diawali dengan inialisasi *Arduino* dan sensor yang terdiri dari sensor gerak, *timer*, dan LCD. Setelah itu, panjang tali bandul ( $L$ ) dimasukkan sebagai parameter awal. Posisi awal bandul disiapkan dengan sudut kecil untuk memastikan osilasi harmonik sederhana. Kemudian, bandul dilepaskan agar berayun secara bebas.

Sensor akan mendeteksi osilasi dan menghitung waktu ( $t$ ) untuk sejumlah ayunan tertentu ( $N$ ). Setelah data waktu diperoleh, periode ayunan ( $T$ ) dihitung

dengan rumus  $T = t / N$ . Selanjutnya, percepatan gravitasi bumi ( $g$ ) dihitung menggunakan rumus  $g = 4\pi^2L / T^2$ . Data hasil perhitungan ditampilkan melalui LCD atau Serial Monitor untuk memudahkan pengguna dalam menganalisis hasil pengamatan.

### 3.5.4 Diagram Alir Pengukuran Data



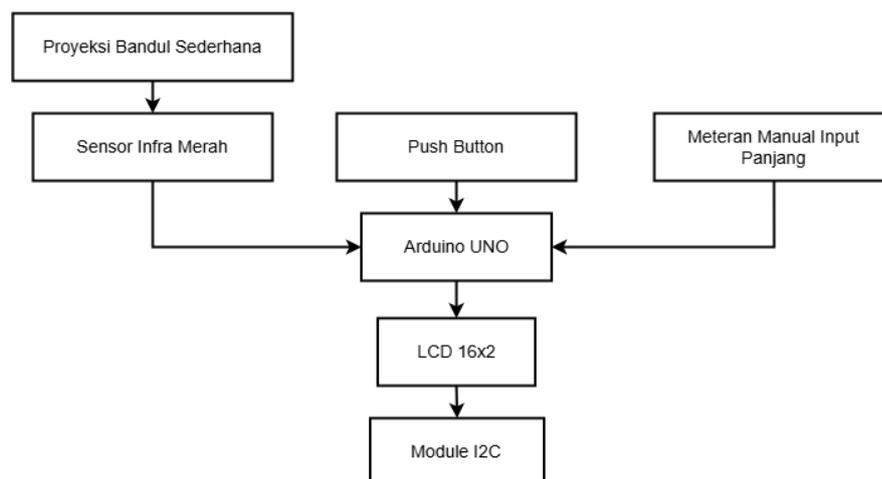
**Gambar 3.4** Diagram Alir Pengukuran Data

Diagram alir pada Gambar 3.4 menggambarkan prosedur pengukuran periode ayunan bandul dalam rangka penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana berbasis *Arduino Uno*. Proses dimulai dengan memastikan sistem *Arduino* terhubung dan berfungsi dengan baik. Selanjutnya, sensor diperiksa untuk memastikan bahwa ia dapat mendeteksi osilasi bandul secara akurat.

Setelah memastikan sistem siap, bandul dipasang pada titik gantung. Pengukuran periode bandul dimulai dengan melepaskan bandul dan mencatat waktu ayunan untuk setiap panjang tali. Data waktu ayunan dicatat secara berulang untuk memastikan konsistensi hasil pengukuran. Setelah semua data terkumpul, proses pengukuran selesai dan data akan digunakan untuk perhitungan percepatan gravitasi bumi.

### 3.6 Prosedur Perancangan Alat

Pada bagian ini dijelaskan tahapan perancangan alat untuk mengukur percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana berbasis *Arduino Uno*. Proses perancangan meliputi pemilihan komponen, perakitan perangkat keras, dan pengaturan perangkat lunak untuk pengambilan data osilasi bandul secara otomatis. Dengan prosedur yang sistematis, alat yang dirancang diharapkan dapat menghasilkan data yang akurat dan konsisten. Adapun perancangan tahapan kerja perangkat keras dapat dilihat pada Blok diagram berikut:



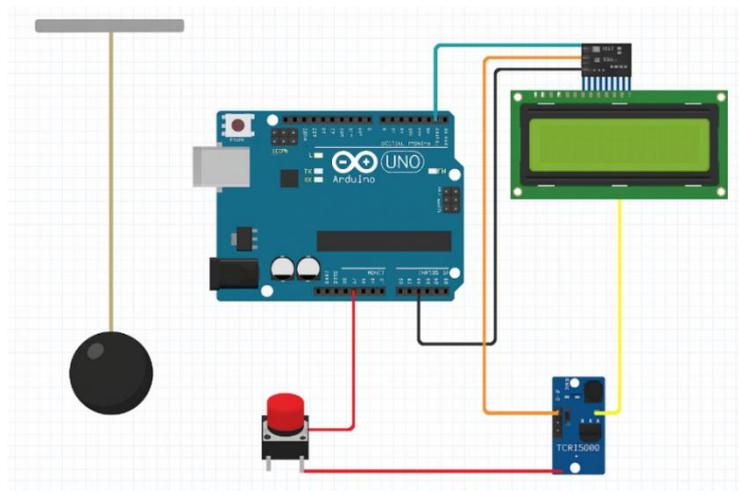
**Gambar 3.5** Diagram Blok Perancangan Alat

Diagram blok pada Gambar 3.5 menggambarkan susunan komponen utama dalam perancangan alat untuk pengukuran percepatan gravitasi bumi menggunakan

metode bandul sederhana berbasis *Arduino Uno*. Komponen utama terdiri dari proyeksi bandul sederhana sebagai objek pengamatan, sensor infra merah yang berfungsi mendeteksi osilasi bandul, dan push button yang digunakan untuk memulai proses pengukuran.

Selain itu, terdapat meteran manual yang digunakan untuk memasukkan panjang tali bandul secara manual sebelum pengukuran dimulai. *Arduino Uno* berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima data dari sensor, menghitung periode ayunan, dan mengolah data untuk perhitungan percepatan gravitasi. Data hasil pengukuran ditampilkan melalui LCD 16x2 yang dikendalikan oleh module I2C untuk meminimalkan jumlah pin yang digunakan. Struktur blok diagram ini memastikan keterhubungan setiap komponen secara sistematis sehingga pengambilan data dapat dilakukan secara otomatis dan akurat.

Komponen yang digunakan terdiri dari komponen elektrik saja. Komponen-komponen ini dapat digunakan pada Board *Arduino* pada pembuatan rancang bangun pada penelitian ini seperti gambar berikut:



**Gambar 3. 6** Skema Perancangan Alat

Komponen-komponen pada Gambar 3.6 di atas terdiri dari:

1. *Arduino Uno*: Berfungsi sebagai mikrokontroler utama yang mengendalikan seluruh rangkaian. *Arduino* menerima input dari sensor IR dan push button, lalu mengolah data untuk ditampilkan pada LCD 16x2.
2. Sensor Infra Merah (IR): Berfungsi untuk mendeteksi osilasi bandul. Sensor ini akan mengirimkan sinyal digital setiap kali bandul melewati sensor, sehingga waktu ayunan dapat diukur.
3. Push Button: Berfungsi sebagai tombol untuk memulai atau menghentikan pengukuran. Saat ditekan, *Arduino* akan mulai mencatat waktu ayunan bandul.
4. LCD 16x2: Berfungsi untuk menampilkan hasil pengukuran, seperti periode ayunan dan percepatan gravitasi. LCD ini terhubung ke *Arduino* melalui jalur I2C untuk menghemat pin digital.
5. Module I2C: Berfungsi sebagai interface untuk LCD 16x2. Modul ini memungkinkan LCD untuk dihubungkan menggunakan hanya dua pin (SDA dan SCL), sehingga mengurangi jumlah pin yang digunakan.
6. Bandul (Plastic Ball) dengan Tali: Berfungsi sebagai objek pengamatan dalam pengukuran periode ayunan. Bandul ini akan diayunkan untuk mendeteksi waktu ayunan menggunakan sensor IR.

### **3.7 Ketentuan Akurasi dan Kalibrasi Alat**

Penentuan akurasi dan kalibrasi alat dilakukan untuk memastikan bahwa sistem pengukuran yang dirancang mampu memberikan hasil yang tepat dan dapat dipercaya. Dalam penelitian ini, proses pengukuran percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana berbasis *Arduino Uno* sangat bergantung pada ketepatan waktu dan panjang tali. Oleh karena itu, dilakukan langkah-langkah untuk mengukur tingkat akurasi hasil eksperimen terhadap nilai teoritis, serta

kalibrasi alat ukur guna meminimalkan kesalahan sistematis yang mungkin terjadi selama proses pengambilan data.

### 3.7.1 Penentuan Akurasi

Akurasi dalam penelitian ini merujuk pada tingkat kedekatan nilai percepatan gravitasi bumi yang diperoleh dari hasil percobaan terhadap nilai standar teoritis. Nilai percepatan gravitasi teoritis yang digunakan sebagai acuan adalah sebesar  $9,80665 \text{ m/s}^2$ , yaitu nilai gravitasi rata-rata di permukaan laut. Untuk menentukan akurasi, digunakan rumus error persentase sebagai berikut:

$$Error \% = \left| \frac{g_{eksperimen} - g_{teoritis}}{g_{teoritis}} \right| \times 100\% \quad (3.2)$$

Keterangan:

- $g_{eksperimen}$  = nilai percepatan gravitasi hasil eksperimen (hasil perhitungan)
- $g_{teoritis}$  = nilai teoritis percepatan gravitasi bumi ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )
- Tanda mutlak (| |) digunakan agar hasil selalu bernilai positif

Semakin kecil nilai error yang diperoleh, maka semakin akurat hasil pengukuran dan metode yang digunakan. Analisis ini dilakukan terhadap setiap nilai ggg hasil percobaan untuk masing-masing panjang tali, kemudian dibandingkan secara keseluruhan untuk menentukan akurasi sistem secara umum.

### 3.7.2 Kalibrasi Alat

Kalibrasi alat bertujuan untuk memastikan bahwa instrumen yang digunakan dalam pengukuran — baik waktu maupun panjang — telah berfungsi dengan baik dan memberikan hasil yang valid. Kalibrasi dilakukan dengan cara berikut:

1. Sensor Waktu (*Arduino* + Sensor IR/LDR): Pengukuran waktu yang dilakukan oleh sistem berbasis *Arduino* dibandingkan dengan stopwatch

digital manual untuk memastikan kesesuaian waktu ayunan. Beberapa kali percobaan awal dilakukan sebagai uji kesesuaian.

2. Pengukuran Panjang Tali: Panjang tali yang digunakan dalam percobaan diukur dengan penggaris baja atau jangka sorong untuk menjamin ketelitian dimensi hingga milimeter.
3. Perbandingan dengan Simulasi: Sebagai pembanding, dilakukan perbandingan hasil perhitungan nilai  $g$  terhadap simulasi bandul sederhana menggunakan aplikasi PhET Interactive Simulations dari University of Colorado, dengan parameter yang sama (panjang tali dan periode).

Melalui metode ini, keandalan sistem pengukuran dapat diuji, dan penyimpangan hasil dapat diidentifikasi sejak awal. Hal ini penting untuk meningkatkan kualitas data dan validitas kesimpulan dari penelitian ini.

### **3.8 Metode Pengambilan Data**

Metode pengambilan data pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan perangkat bandul sederhana berbasis *Arduino Uno* yang telah dirancang. Fokus utama dari proses pengambilan data adalah pencatatan waktu periode ayunan bandul untuk 3 panjang tali yang berbeda, yaitu dari 30 cm, 40 cm, dan 50 cm. Berikut adalah tahapan pengambilan data secara terperinci:

- A. Persiapan Sistem Pengukuran:
  1. Menghubungkan seluruh komponen sesuai dengan skema rangkaian yang telah ditetapkan, meliputi sensor IR, push button, LCD 16x2, dan modul I2C.
  2. Menyalakan *Arduino Uno* untuk memastikan bahwa seluruh komponen berfungsi dengan baik dan siap digunakan.

3. Mengatur panjang tali bandul pada posisi pertama (30 cm), memastikan panjang tali telah diukur secara presisi menggunakan meteran.

B. Kalibrasi Sistem Sensor IR:

1. Mengatur sensor IR untuk mendeteksi ayunan bandul pada posisi tengah.
2. Melakukan pengujian awal untuk memastikan sensor dapat mendeteksi osilasi bandul dengan akurat.
3. Memastikan data deteksi osilasi bandul ditampilkan secara real-time pada LCD 16x2.

C. Proses Pengambilan Data untuk Setiap Panjang Tali:

1. Menempatkan bandul pada posisi awal dengan sudut simpangan kecil (kurang dari 15 derajat) untuk memastikan ayunan harmonik sederhana.
2. Menekan push button untuk memulai proses pengukuran.
3. Melepaskan bandul secara perlahan tanpa memberikan gaya dorong tambahan.
4. Sensor IR akan mendeteksi setiap kali bandul melewati posisi tengah dan mencatat waktu ( $t$ ) untuk sejumlah ayunan tertentu ( $N$ ).
5. *Arduino Uno* akan menghitung periode ayunan ( $T$ ).
6. Pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali untuk setiap panjang tali guna memperoleh data rata-rata periode ayunan.

D. Pengulangan untuk Panjang Tali Berikutnya:

1. Setelah pengukuran untuk panjang tali pertama selesai, panjang tali bandul diubah penambahan 10 cm.
2. Prosedur pengukuran diulang sesuai tahapan sebelumnya hingga diperoleh data periode ayunan untuk panjang tali 30 cm, 40 cm, dan 50 cm.

3. Langkah-langkah yang sama dilakukan untuk panjang tali yang sesuai.

E. Pencatatan dan Penyimpanan Data:

1. Semua data hasil pengukuran waktu dan periode ayunan dicatat secara manual dan juga ditampilkan melalui LCD 16x2.
2. Data tersebut akan digunakan untuk menghitung percepatan gravitasi bumi.

Tabel 3.1 Tabel Pengambilan Data

Panjang Tali	Periode (T) (s)			g Eksperimen (m/s <sup>2</sup> )			g Teoritis (m/s <sup>2</sup> )
	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	
Periode ke-1							9.8
Periode ke-2							9.8
Periode ke-3							9.8
Periode ke-4							9.8
Periode ke-5							9.8
Periode ke-6							9.8
Periode ke-7							9.8
Periode ke-8							9.8
Periode ke-9							9.8
Periode ke-10							9.8

Tabel 3.1 merupakan rancangan pengambilan data untuk percobaan penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan metode bandul sederhana berbasis *Arduino* Uno. Percobaan direncanakan dilakukan sebanyak 10 kali periode dengan variasi panjang tali mulai dari 30 cm, 40 cm, dan 50 cm, bertambah secara bertahap dengan interval 10 cm pada setiap pengukuran. Untuk setiap panjang tali, akan dicatat waktu yang dibutuhkan untuk 1 ayunan penuh menggunakan sistem pendeteksi waktu otomatis yang dikendalikan oleh *Arduino*.

Dari data waktu 1 ayunan tersebut, periode ayunan ( $T$ ) akan dihitung dengan membagi total waktu dengan jumlah ayunan. Selanjutnya, nilai  $T^2$  (kuadrat periode) dihitung untuk keperluan perhitungan nilai percepatan gravitasi ( $g$ ) menggunakan rumus 3.1.

Dimana  $L$  adalah panjang tali bandul dalam meter, dan  $T$  adalah periode ayunan dalam detik. Hasil akhir dari percobaan ini diharapkan dapat menunjukkan nilai  $g$  yang mendekati nilai teoritis percepatan gravitasi bumi, yaitu sekitar  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Tabel ini akan digunakan sebagai pedoman pengisian data selama proses eksperimen berlangsung.

### 3.9 Metode Pengolahan Data

Setelah data pengukuran periode ayunan bandul berhasil diperoleh untuk 3 panjang tali yang berbeda, langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan data untuk menghitung percepatan gravitasi bumi. Pengolahan data dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan berikut:

#### A. Penghitungan Rata-rata Waktu ( $t$ ):

1. Dari data pengukuran untuk setiap panjang tali, waktu ayunan dicatat sebanyak tiga kali percobaan.
2. Rata-rata waktu ( $t$ ) untuk setiap panjang tali dihitung menggunakan rumus:

$$\bar{t} = \frac{t_1 + t_1 + t_3 + \dots + t_n}{n} \quad (3.3)$$

Keterangan:

- $\bar{t}$  : rata-rata waktu total untuk sejumlah ayunan (dalam detik)
- $t_1, t_2, t_3, \dots, t_n$  : waktu hasil pengukuran dari setiap percobaan
- $n$  : jumlah pengukuran atau percobaan

B. Penghitungan Periode Ayunan (T):

Periode ayunan (T) untuk setiap panjang tali dihitung berdasarkan rata-rata waktu ayunan dengan rumus:

$$T = \frac{t}{n} \quad (3.4)$$

Keterangan:

- T = periode ayunan (dalam detik)
- t = total waktu untuk sejumlah ayunan (dalam detik)
- n = jumlah ayunan

C. Penghitungan Percepatan Gravitasi (g):

Setelah periode ayunan diperoleh, percepatan gravitasi (g) dapat dihitung menggunakan persamaan 3.1.

D. Pengolahan Data untuk Setiap Panjang Tali:

1. Pengolahan data dilakukan untuk masing-masing panjang tali (30 cm, 40 cm, 50 cm).
2. Hasil perhitungan percepatan gravitasi untuk setiap panjang tali kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai akhir percepatan gravitasi bumi.

E. Analisis Kesalahan Pengukuran:

1. Setelah data dihitung, dilakukan analisis terhadap kemungkinan kesalahan pengukuran yang dapat terjadi selama proses pengambilan data.
2. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran antara lain:
  - a. Ketidakstabilan osilasi bandul
  - b. Kesalahan pembacaan sensor IR
  - c. Ketidaktepatan dalam mencatat waktu ayunan

### 3.10 Metode Analisis Data

Setelah data pengukuran dan pengolahan data selesai dilakukan, langkah berikutnya adalah menganalisis data untuk mendapatkan hasil akhir berupa nilai percepatan gravitasi bumi. Metode analisis data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan berikut:

A. Analisis Periode Ayunan (T):

1. Data periode ayunan yang telah dihitung untuk masing-masing panjang tali dianalisis untuk memastikan konsistensi dan kestabilan hasil pengukuran.
2. Periode ayunan yang terlalu jauh berbeda dari rata-rata akan diperiksa kembali untuk kemungkinan adanya kesalahan pengukuran.

B. Analisis Percepatan Gravitasi (g):

1. Nilai percepatan gravitasi bumi dihitung menggunakan persamaan 3.5.
2. Data hasil perhitungan percepatan gravitasi untuk setiap panjang tali kemudian dirata-ratakan untuk mendapatkan nilai akhir percepatan gravitasi bumi.

C. Analisis Konsistensi Data:

1. Hasil pengukuran percepatan gravitasi untuk setiap panjang tali dibandingkan untuk mengevaluasi konsistensi hasil.
2. Jika terdapat perbedaan yang signifikan antar panjang tali, maka akan dilakukan analisis ulang untuk mengidentifikasi sumber kesalahan.

D. Analisis Kesalahan Pengukuran:

1. Kesalahan pengukuran dihitung untuk menentukan tingkat akurasi hasil pengukuran. Rumus kesalahan pengukuran yang digunakan terdapat pada rumus 3.2.

2. Di mana adalah nilai percepatan gravitasi bumi secara teoritis ( $9,8 \text{ m/s}^2$ ).

E. Interpretasi Data:

1. Data hasil pengolahan dan analisis akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik untuk memudahkan interpretasi.
2. Data akan dijelaskan secara deskriptif untuk memberikan pemahaman yang jelas mengenai hasil pengukuran dan analisis.

## **BAB IV**

### **HASIL DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Data Hasil Penelitian**

Data hasil penelitian diperoleh melalui pengukuran periode ayunan bandul dengan panjang tali bervariasi, dimulai dari 30 cm hingga 50 cm dengan interval 10 cm. Setiap panjang tali digunakan untuk melakukan tiga kali pengukuran guna memperoleh data rata-rata waktu ayunan. Sistem pengukuran berbasis *Arduino* yang dilengkapi sensor infra merah, push button, dan LCD 16x2 memungkinkan proses pencatatan waktu osilasi dilakukan secara otomatis dan akurat. Dari hasil pengukuran waktu tersebut, periode ayunan ( $T$ ), kuadrat periode ( $T^2$ ), dan percepatan gravitasi ( $g$ ) dihitung menggunakan persamaan fisika yang relevan.

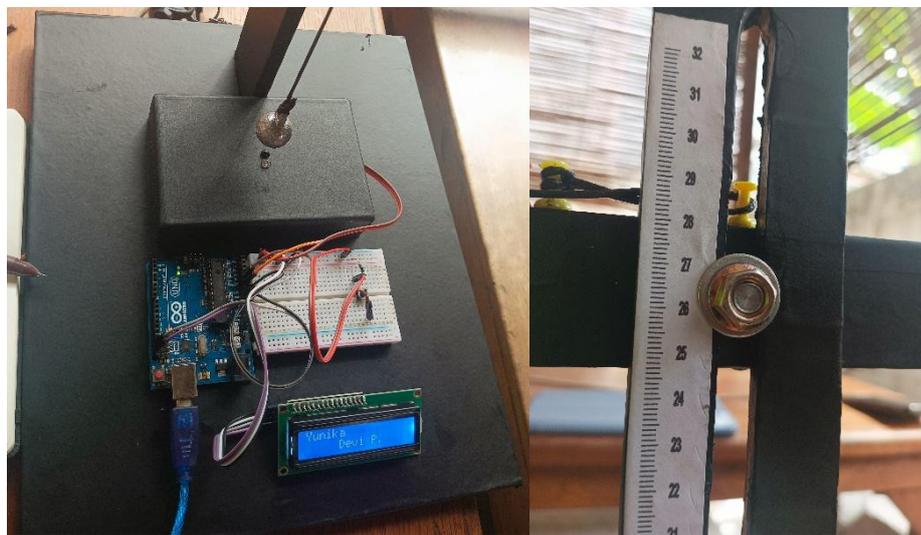
#### **4.2 Pembuatan Sistem Bandul Sederhana Berbasis *Arduino* Uno**

Pembuatan sistem bandul sederhana berbasis *Arduino* Uno dilakukan dengan merujuk pada rancangan yang telah dijelaskan pada Bab 3, yang terdiri dari integrasi komponen elektronik dan mekanik untuk mengukur percepatan gravitasi bumi secara otomatis. Sistem ini dirancang agar mampu mendeteksi waktu ayunan bandul dengan akurat dan menyajikan hasil perhitungan langsung melalui layar LCD. Proses pembuatan sistem dilakukan secara bertahap melalui beberapa tahapan, yaitu perakitan perangkat keras, pemrograman perangkat lunak, serta pengujian awal fungsionalitas sistem.

##### **4.2.1 Perakitan Perangkat Keras**

Perakitan perangkat keras merupakan tahap awal dalam pembuatan sistem bandul sederhana yang bertujuan untuk menyusun komponen-komponen fisik

menjadi suatu sistem yang terintegrasi. Pada tahap ini, berbagai komponen seperti mikrokontroler *Arduino* Uno, sensor infrared, LCD 16x2, breadboard, kabel jumper, serta rangka mekanik bandul disusun dan dirakit sesuai dengan desain sistem. Proses perakitan dilakukan secara teliti agar seluruh koneksi antar komponen berjalan dengan baik dan sistem dapat berfungsi optimal dalam mendeteksi serta menampilkan hasil pengukuran ayunan bandul.



**Gambar 4.1** Alat Bandul Sederhana Menggunakan *Arduino* Uno

Pada Gambar 4.1 tersebut ditampilkan alat bandul sederhana yang dirancang menggunakan mikrokontroler *Arduino* Uno sebagai pusat pengendali sistem. Gambar sebelah kiri menunjukkan keseluruhan rangkaian sistem yang terdiri dari *Arduino* Uno, breadboard tempat penyusunan rangkaian elektronik, LCD 16x2 dengan modul I2C sebagai tampilan hasil, serta kabel-kabel penghubung. Di atas sistem terlihat dudukan tempat tali bandul tergantung, yang dirancang stabil untuk menjaga konsistensi ayunan. Gambar sebelah kanan memperlihatkan bagian detail dari bandul yang terdiri atas bola logam kecil yang digantungkan pada tali, dengan penggaris vertikal sebagai acuan untuk mengukur panjang tali secara presisi. Sensor

infrared diposisikan sedemikian rupa agar dapat mendeteksi saat bandul melewati titik tengah ayunannya. Sistem ini mendukung otomatisasi pengukuran waktu ayunan bandul dan perhitungan percepatan gravitasi secara langsung melalui layar LCD.

#### 4.2.2 Pemrograman Perangkat Lunak

Setelah seluruh komponen dirakit, tahap selanjutnya adalah pemrograman mikrokontroler *Arduino* Uno menggunakan *Arduino* IDE. Program dibuat untuk menjalankan beberapa fungsi utama, antara lain:

1. Inisialisasi komponen input-output seperti sensor IR, push button, dan LCD

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

unsigned long mulai, selesai, dataStopWatch;

int i=0;

int fPaus = 0;

long lastButton = 0;

long delayAntiBouncing = 50;

long dataPaus = 0;

float distance = 0.3;
```

2. Deteksi sinyal dari sensor IR saat bandul melewati titik tengah

```
if ((millis() - lastButton) > delayAntiBouncing) {

    if (i==0) {

        lcd.clear();

        mulai = millis();

        fPaus = 0;
```

```

    }

    else if (i==1){

        dataPaus = dataStopWatch;

        fPaus = 1;

    }

    i=!i;

}

lastButton = millis();

}

```

3. Penghitungan periode ayunan berdasarkan waktu tempuh antar osilasi

```

selesai = millis();

float jam, menit, detik, miliDetik, t;

unsigned long over;

dataStopWatch = selesai - mulai;

dataStopWatch = dataPaus + dataStopWatch;

```

4. Pengolahan data untuk menghitung percepatan gravitasi menggunakan rumus fisis bandul sederhana.

```

jam = int(dataStopWatch / 3600000);

over = dataStopWatch % 3600000;

menit = int(over / 60000);

over = over % 60000;

detik = int(over / 1000);

miliDetik = over % 1000;

float waktu = detik+(miliDetik*0.00103);

t = waktu*2;

```

```
float gravity = (4*9.86*distance)/(t*t);
```

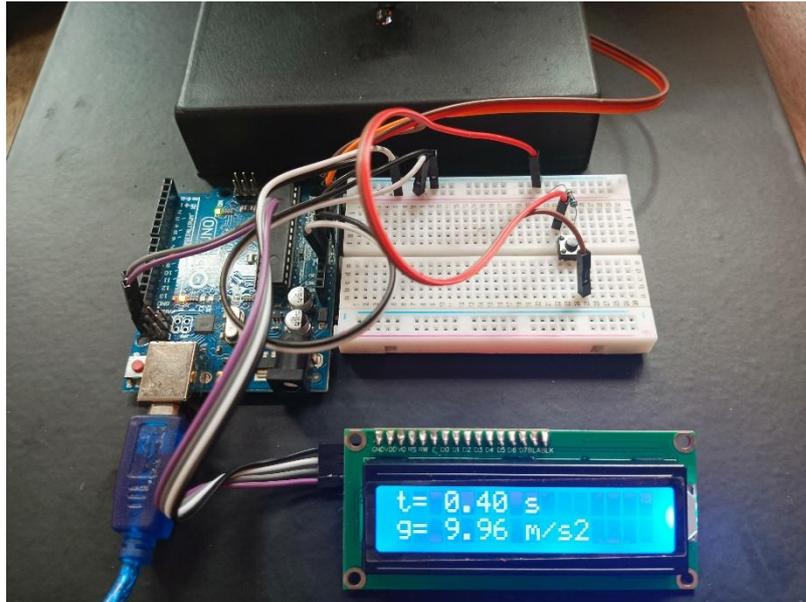
5. Menampilkan nilai periode dan percepatan gravitasi secara real-time pada LCD 16x2.

```
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("t= ");
lcd.print(waktu);
lcd.print(" s ");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("g= ");
lcd.print(gravity);
lcd.print(" m/s2 ");
```

Kode program dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman C/C++ dengan memperhatikan logika pemrosesan waktu yang presisi, serta penggunaan variabel yang efisien agar sistem dapat bekerja tanpa lag dan error.

#### 4.2.3 Pengujian Awal Sistem

Sistem yang telah dirakit dan diprogram kemudian diuji fungsionalitasnya. Pengujian dilakukan dengan melakukan beberapa kali ayunan bandul dan mengamati apakah sensor dapat mendeteksi gerakan dengan baik. Hasil pengukuran waktu dan nilai percepatan gravitasi juga diperiksa apakah sesuai dengan prediksi teoritis. Jika terdapat kesalahan pembacaan sensor atau hasil tidak sesuai, maka dilakukan pengecekan ulang terhadap sambungan kabel, logika program, serta posisi sensor dan bandul.



**Gambar 4. 2** Pengujian Awal Sistem

Pada Gambar 4.2 menunjukkan alat yang dirancang berhasil mendeteksi ayunan bandul secara otomatis dan menghasilkan nilai percepatan gravitasi yang ditampilkan secara langsung pada layar. Sistem ini dinyatakan siap untuk digunakan dalam proses pengambilan data percobaan secara sistematis, sebagaimana dijelaskan pada bagian sebelumnya.

### 4.3 Hasil Pengujian

Pengujian sistem dan uji fungsionalitas dilakukan untuk memastikan bahwa alat bandul sederhana yang dirancang dapat bekerja dengan baik dan sesuai dengan fungsinya. Pengujian ini mencakup dua aspek utama, yaitu pengujian fungsionalitas komponen perangkat keras dan pengujian sistem secara keseluruhan dalam melakukan perhitungan fisika, khususnya periode ayunan dan percepatan gravitasi. Selain itu, pengujian bertujuan untuk mengetahui apakah sensor, mikrokontroler, serta tampilan output pada LCD dapat beroperasi secara sinkron dan akurat selama proses pengukuran berlangsung. Melalui pengujian ini, keandalan dan stabilitas alat

dapat dievaluasi sebagai dasar untuk implementasi lebih lanjut di lingkungan pembelajaran.

#### 4.3.1 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengetahui akurasi sistem bandul sederhana dalam mengukur waktu ayunan dan menghitung percepatan gravitasi ( $g$ ). Data diperoleh dengan mengukur waktu setengah ayunan menggunakan sensor yang telah terpasang, kemudian sistem menghitung periode penuh dan nilai percepatan gravitasi berdasarkan rumus 3.4.

Tabel berikut menunjukkan hasil pengujian dengan variasi panjang tali dari 0.30 meter, 0.40 meter, dan 0.50 meter. Setiap panjang diuji dengan mencatat waktu setengah ayunan, menghitung periode ( $T = 2 \times$  waktu setengah ayunan), serta menentukan nilai  $T^2$  dan percepatan gravitasi.

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Sistem Bandul Sederhana

Panjang Tali	Periode (T) (s)			g Eksperimen ( $m/s^2$ )			g Teoritis ( $m/s^2$ )
	0.3	0.4	0.5	0.3	0.4	0.5	
Periode ke-1	1.1066	1.2777	1.4284	9.6716	9.6730	9.6745	9.8
Periode ke-2	1.1055	1.2763	1.4266	9.6909	9.6942	9.6989	9.8
Periode ke-3	1.1046	1.2751	1.4252	9.7067	9.7125	9.7180	9.8
Periode ke-4	1.1039	1.2741	1.4241	9.7190	9.7277	9.7330	9.8
Periode ke-5	1.1032	1.2733	1.4231	9.7313	9.7400	9.7467	9.8
Periode ke-6	1.1026	1.2726	1.4224	9.7419	9.7507	9.7563	9.8
Periode ke-7	1.1021	1.2721	1.4217	9.7508	9.7584	9.7659	9.8
Periode ke-8	1.1017	1.2716	1.4212	9.7578	9.7660	9.7728	9.8
Periode ke-9	1.1013	1.2712	1.4208	9.7649	9.7722	9.7783	9.8
Periode ke-10	1.1010	1.2708	1.4204	9.7702	9.7783	9.7838	9.8

Dari Tabel 4.1 diperoleh bahwa nilai percepatan gravitasi berkisar antara 9,6716 m/s<sup>2</sup> hingga 9.7838 m/s<sup>2</sup>, yang menunjukkan bahwa alat ini mampu mengukur nilai gravitasi dengan cukup baik dan mendekati nilai teoritis gravitasi bumi, yaitu sekitar 9,8 m/s<sup>2</sup>. Variasi nilai yang muncul kemungkinan disebabkan oleh faktor seperti gesekan udara, panjang tali yang tidak sepenuhnya presisi, atau fluktuasi pembacaan sensor.

Untuk memperoleh gambaran mengenai tingkat variasi atau penyebaran data dalam percobaan sistem bandul sederhana, dilakukan analisis statistik deskriptif terhadap data percepatan gravitasi hasil eksperimen ( $g$  eksperimen) pada tiga panjang tali yang berbeda, yaitu 0.3 m, 0.4 m, dan 0.5 m. Salah satu parameter penting dalam analisis ini adalah standar deviasi, yang menunjukkan sejauh mana data menyebar dari nilai rata-rata. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak SPSS dengan pendekatan deskriptif statistik.

<b>Descriptive Statistics</b>					
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation
P30	10	9.6716	9.7702	9.730510	.0329705
P40	10	9.6730	9.7783	9.737300	.0350461
P50	10	9.6745	9.7838	9.742820	.0363249
Valid N (listwise)	10				

**Gambar 4.3** Std Deviasi Data

Berdasarkan Gambar 4.3 dari hasil analisis menggunakan SPSS, diperoleh nilai standar deviasi untuk masing-masing panjang tali sebagai berikut: untuk panjang tali 0.3 m (P30) sebesar 0.0329705, panjang tali 0.4 m (P40) sebesar 0.0350461, dan panjang tali 0.5 m (P50) sebesar 0.0363249. Nilai-nilai tersebut menunjukkan bahwa data  $g$  eksperimen memiliki tingkat penyebaran yang relatif kecil di sekitar nilai rata-ratanya, yang berarti hasil pengukuran cukup konsisten.

Semakin kecil nilai standar deviasi, semakin tinggi tingkat ketelitian pengukuran. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa percobaan sistem bandul sederhana menghasilkan data yang stabil dan dapat diandalkan.

Selanjutnya menghitung tingkat akurasi sistem yang sudah di uji dengan membandingkan nilai percepatan gravitasi hasil eksperimen terhadap nilai teoritis percepatan gravitasi bumi, yaitu sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Perhitungan error dilakukan menggunakan rumus 3.2. Berikut tabel untuk menghitung tingkat akurasi sistem bandul sederhana menggunakan *Arduino*:

Tabel 4.2 Akurasi Sistem

Panjang Tali	g Eksperimen ( $\text{m/s}^2$ )			g Teoritis ( $\text{m/s}^2$ )	Error (%)		
	0.3	0.4	0.5		0.3	0.4	0.5
Periode ke-1	9.6716	9.6730	9.6745	9.8	1.31	1.30	1.28
Periode ke-2	9.6909	9.6942	9.6989	9.8	1.11	1.08	1.03
Periode ke-3	9.7067	9.7125	9.7180	9.8	0.95	0.89	0.84
Periode ke-4	9.7190	9.7277	9.7330	9.8	0.83	0.74	0.68
Periode ke-5	9.7313	9.7400	9.7467	9.8	0.70	0.61	0.54
Periode ke-6	9.7419	9.7507	9.7563	9.8	0.59	0.50	0.45
Periode ke-7	9.7508	9.7584	9.7659	9.8	0.50	0.42	0.35
Periode ke-8	9.7578	9.7660	9.7728	9.8	0.43	0.35	0.28
Periode ke-9	9.7649	9.7722	9.7783	9.8	0.36	0.28	0.22
Periode ke-10	9.7702	9.7783	9.7838	9.8	0.30	0.22	0.17
<b>Rata-rata Error %</b>					0.71	0.64	0.58
<b>Rata-rata Error Keseluruhan %</b>					0.64		

Pada Tabel 4.2 menunjukkan tingkat akurasi sistem bandul sederhana, berdasarkan hasil pengujian sistem yang telah dilakukan terhadap berbagai variasi panjang tali, diperoleh nilai percepatan gravitasi eksperimental (g eksperimen) yang kemudian dibandingkan dengan nilai teoritis percepatan gravitasi bumi sebesar  $9,8$

m/s<sup>2</sup>. Perbandingan ini menghasilkan persentase error yang menunjukkan tingkat akurasi sistem. Nilai error yang dihasilkan bervariasi, mulai dari yang terkecil sebesar 0,17% hingga yang tertinggi mencapai 1,31%. Variasi ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti ketepatan waktu ayunan yang terdeteksi oleh sensor, kestabilan tali saat berayun, serta toleransi kesalahan dalam pembacaan data oleh mikrokontroler. Hal ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang cukup akurat dalam mengukur percepatan gravitasi melalui metode ayunan bandul, serta dapat diandalkan sebagai alat bantu praktikum fisika untuk keperluan pembelajaran.

#### 4.3.2 Hasil Pengujian Fungsionalitas

Uji fungsionalitas dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen dan fitur sistem bandul sederhana bekerja sesuai dengan fungsinya. Uji ini dilakukan berdasarkan skenario-skenario pengujian terhadap setiap fitur utama yang ada pada perangkat keras dan perangkat lunak sistem, terutama dalam membaca sensor, menampilkan informasi pada LCD, serta menghitung nilai periode dan percepatan gravitasi. Tabel berikut merupakan hasil pengujian fungsionalitas sistem:

Tabel 4. 3 Hasil pengujian Fungsionalitas

No	Komponen/ Fitur yang Diuji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Sensor Pendulum (Infrared/Photodiode)	Menggerakkan bandul melewati sensor	Sensor mendeteksi ayunan dan mengirimkan sinyal ke <i>Arduino</i>	Berhasil
2	Mikrokontroler ( <i>Arduino</i> Uno)	Menerima input dari sensor dan memproses data	<i>Arduino</i> menghitung waktu dan periode dengan benar	Berhasil

No	Komponen/ Fitur yang Diuji	Langkah Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
3	Layar LCD (16x2)	Menampilkan informasi hasil pengukuran	LCD menampilkan waktu ayunan, periode, dan nilai gravitasi	Berhasil
4	Tombol Reset	Menekan tombol reset pada sistem	LCD kembali ke tampilan awal dan siap untuk pengukuran baru	Berhasil
5	Pengukuran Periode Ayunan	Mengayunkan bandul dan mencatat waktu ayunan	Periode tampil otomatis setelah 1 ayunan penuh	Berhasil
6	Perhitungan Nilai Gravitasi	Sistem menghitung nilai $g$ berdasarkan panjang tali dan periode	Nilai $g$ muncul pada LCD dengan tingkat akurasi yang layak	Berhasil
7	Breadboard & Rangkaian Kabel	Menyambungkan semua komponen dengan kabel dan breadboard	Semua sambungan berfungsi dan tidak ada koneksi longgar	Berhasil
8	Catu Daya (Power Supply)	Memberi daya melalui kabel USB ke <i>Arduino</i>	Sistem menyala dan bekerja dengan baik	Berhasil

Pada Tabel 4.3 menunjukkan seluruh komponen diuji satu per satu untuk memastikan bahwa sistem dapat bekerja secara terintegrasi. Sensor yang digunakan mampu mendeteksi ayunan dengan respons yang baik. *Arduino* Uno berfungsi sebagai otak sistem yang memproses sinyal dan menghitung nilai waktu, periode,

dan percepatan gravitasi secara otomatis. Hasil pengukuran ditampilkan secara langsung di layar LCD 16x2, sehingga pengguna dapat membaca data tanpa keterlambatan. Tombol reset berfungsi untuk mengulang proses pengukuran jika terjadi kesalahan atau pengguna ingin melakukan percobaan ulang. Selain itu, rangkaian elektronik pada breadboard bekerja dengan stabil tanpa adanya gangguan koneksi, dan suplai daya dari kabel USB memberikan tegangan yang cukup untuk menjalankan seluruh sistem. Dengan demikian, hasil uji fungsionalitas menunjukkan bahwa alat bandul sederhana berbasis *Arduino* Uno ini berfungsi secara optimal dan siap digunakan untuk keperluan eksperimen atau pembelajaran fisika dasar terkait gerak harmonik bandul.

#### **4.4 Pembahasan**

Pengujian sistem bandul sederhana telah dilakukan melalui serangkaian percobaan yang mencakup perakitan perangkat keras, pengujian fungsionalitas sistem, pengamatan terhadap hasil perhitungan percepatan gravitasi, serta analisis tingkat akurasi sistem berdasarkan nilai error yang diperoleh.

Dari hasil pengujian, sistem berhasil mendeteksi waktu setengah ayunan dengan bantuan sensor cahaya (LDR) dan mikrokontroler, kemudian menghitung periode dan percepatan gravitasi berdasarkan rumus fisika bandul. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa nilai percepatan gravitasi ( $g$ ) yang diperoleh relatif mendekati nilai teoritis sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ . Ini menunjukkan bahwa sistem mampu menjalankan fungsinya secara tepat dalam mengolah data eksperimen menjadi hasil yang bisa dianalisis secara ilmiah.

Sebagai bagian dari analisis statistik untuk melihat konsistensi data hasil eksperimen, dilakukan perhitungan standar deviasi terhadap nilai percepatan

gravitasi ( $g$ ) pada tiga panjang tali berbeda. Hasil perhitungan menggunakan perangkat lunak SPSS menunjukkan bahwa standar deviasi untuk panjang tali 0.3 m (P30) adalah 0.03297, panjang tali 0.4 m (P40) sebesar 0.03505, dan panjang tali 0.5 m (P50) sebesar 0.03632. Nilai-nilai ini tergolong rendah, yang menandakan bahwa penyebaran data dari rata-rata cukup kecil dan pengukuran yang dilakukan sistem bersifat konsisten. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa hasil eksperimen tidak hanya akurat tetapi juga stabil secara statistik.

Selanjutnya, berdasarkan analisis akurasi, sebagian besar hasil eksperimen menghasilkan error yang masih dalam batas wajar. Perbedaan antara nilai eksperimental dan nilai teoritis umumnya disebabkan oleh faktor eksternal seperti ayunan yang tidak ideal, gangguan lingkungan, atau ketidaksempurnaan sensor dalam mendeteksi waktu secara presisi. Meskipun demikian, secara keseluruhan sistem dapat dikategorikan cukup akurat dan layak digunakan sebagai alat bantu pembelajaran berbasis eksperimen.

Secara fungsional, semua komponen berjalan dengan baik, mulai dari input sensor, pengolahan data oleh mikrokontroler, hingga tampilan hasil pada perangkat antarmuka. Pengujian fungsionalitas sistem menunjukkan bahwa setiap fitur pada sistem dapat bekerja sesuai yang diharapkan. Hal ini mendukung efektivitas sistem dalam memberikan pengalaman praktikum yang akurat dan efisien bagi pengguna, khususnya dalam konteks pembelajaran fisika.

#### **4.5 Kajian Keislaman**

Dengan demikian, sistem bandul sederhana yang dirancang dan dibangun ini tidak hanya berfungsi dengan baik secara teknis, tetapi juga menunjukkan tingkat keakuratan hasil pengukuran yang memadai untuk mendukung kegiatan

pembelajaran maupun eksperimen fisika dasar tentang konsep percepatan gravitasi. Keberhasilan sistem dalam menghitung percepatan gravitasi yang mendekati nilai teoritis mencerminkan adanya keteraturan dan kepastian hukum alam yang dapat diamati dan dianalisis. Hal ini selaras dengan firman Allah dalam QS. Al-Mulk (67): 3-4:

الَّذِي خَلَقَ سَبْعَ سَمَاوَاتٍ طِبَاقًا مَا تَرَى فِي خَلْقِ الرَّحْمَنِ مِنْ تَفَوتٍ فَارْجِعِ الْبَصَرَ هَلْ تَرَى  
مِنْ فُطُورٍ ۚ ثُمَّ ارْجِعِ الْبَصَرَ كَرَّتَيْنِ يَنْقَلِبْ إِلَيْكَ الْبَصَرُ حَاسِنًا ۚ وَهُوَ حَسِيرٌ ۙ

*”(Dia juga) yang menciptakan tujuh langit berlapis-lapis. Kamu tidak akan melihat pada ciptaan Tuhan Yang Maha Pengasih ketidakseimbangan sedikit pun. Maka, lihatlah sekali lagi! Adakah kamu melihat suatu cela?. Kemudian, lihatlah sekali lagi (dan) sekali lagi (untuk mencari cela dalam ciptaan Allah), niscaya pandanganmu akan kembali kepadamu dengan kecewa dan dalam keadaan letih (karena tidak menemukannya)” (QS. Al-Mulk : Ayat 3-4)*

Ayat ini menegaskan bahwa ciptaan Allah penuh dengan keseimbangan dan keteraturan, yang mendorong manusia untuk mengamatinya secara cermat. Dengan melakukan eksperimen ini, kita tidak hanya memahami hukum fisika, tetapi juga menyadari keteraturan dan keagungan ciptaan Allah, sehingga kegiatan ilmiah ini dapat menjadi sarana untuk memperkuat iman melalui tadabbur terhadap alam semesta.

Ayat lainnya yang juga mendukung semangat pengamatan ilmiah adalah: QS.

Ali ‘Imran (3): 190:

إِنَّ فِي خَلْقِ السَّمَوَاتِ وَالْأَرْضِ وَاخْتِلَافِ اللَّيْلِ وَالنَّهَارِ لَآيَاتٍ لِأُولِي الْأَلْبَابِ ۚ ١٩٠

*“Sesungguhnya dalam penciptaan langit dan bumi serta pergantian malam dan siang terdapat tanda-tanda (kebesaran Allah) bagi orang yang berakal” (QS. Ali ‘Imran: Ayat 190)*

Ayat ini menegaskan bahwa proses berpikir, meneliti, dan mengamati fenomena alam adalah cara untuk mengenali tanda-tanda kekuasaan Allah.

Eksperimen fisika seperti ini merupakan wujud penggunaan akal untuk memahami alam ciptaan-Nya, sehingga menguatkan hubungan antara ilmu pengetahuan dan keimanan.

Dengan demikian, sistem bandul sederhana yang dirancang dan dibangun ini tidak hanya berfungsi dengan baik secara teknis, tetapi juga menunjukkan tingkat keakuratan hasil pengukuran yang memadai untuk mendukung kegiatan pembelajaran maupun eksperimen fisika dasar tentang konsep percepatan gravitasi. Selain itu, kegiatan ini juga selaras dengan nilai-nilai keislaman dalam hal penggunaan akal dan pengamatan terhadap keteraturan ciptaan Allah, sebagai bentuk tadabbur dan penguatan iman melalui ilmu pengetahuan.

## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan terhadap alat bandul sederhana berbasis *Arduino* Uno, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. Penentuan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi:

Sistem bandul sederhana yang dirancang dengan bantuan *Arduino* Uno berhasil digunakan untuk mengukur percepatan gravitasi bumi. Pengukuran dilakukan dengan mencatat waktu ayunan bandul yang terdeteksi oleh sensor inframerah, kemudian mikrokontroler menghitung periode ayunan dan percepatan gravitasi secara otomatis berdasarkan panjang tali dan rumus fisika yang relevan. Informasi hasil pengukuran ditampilkan secara langsung pada layar LCD, sehingga memudahkan pengguna dalam membaca data.

2. Akurasi Pengukuran Sistem:

Hasil pengujian sistem menunjukkan tingkat konsistensi yang baik, sebagaimana ditunjukkan oleh nilai standar deviasi percepatan gravitasi (g) yang relatif kecil pada masing-masing variasi panjang tali. Nilai standar deviasi tercatat sebesar 0.03297 untuk panjang tali 0.3 m, 0.03505 untuk 0.4 m, dan 0.03632 untuk 0.5 m. Nilai tersebut menunjukkan bahwa sebaran data terhadap rata-rata cukup rendah, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem mampu menghasilkan data eksperimen yang stabil dan konsisten. Selanjutnya, diperoleh nilai percepatan gravitasi eksperimen yang berkisar antara  $9.6716 \text{ m/s}^2$  hingga  $9.7838 \text{ m/s}^2$ . Jika dibandingkan dengan nilai teoritis gravitasi bumi sebesar  $9,8 \text{ m/s}^2$ , maka sistem menunjukkan tingkat akurasi yang cukup baik. Nilai persentase error berkisar antara 0,17% hingga

1,31%, dengan rata-rata error sebesar 0,64%. Variasi error ini kemungkinan disebabkan oleh ketidaksempurnaan pembacaan sensor, panjang tali yang tidak sepenuhnya presisi, serta pengaruh faktor eksternal seperti gesekan udara dan getaran. Dengan demikian, sistem ini dinilai cukup akurat dan layak digunakan sebagai alat bantu eksperimen dalam pembelajaran fisika.

## 5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian terhadap sistem bandul sederhana berbasis *Arduino* Uno, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan dan pemanfaatan lebih lanjut dari alat ini, antara lain:

1. Peningkatan Akurasi Pengukuran:

Untuk meningkatkan akurasi pengukuran percepatan gravitasi, disarankan agar panjang tali bandul diukur dengan alat ukur yang presisi dan dipastikan dalam posisi vertikal sempurna saat bandul berayun. Perlu ditekankan bahwa panjang tali memiliki pengaruh signifikan terhadap tingkat akurasi pengukuran. Semakin panjang tali yang digunakan, maka periode ayunan menjadi lebih besar, sehingga kesalahan relatif terhadap waktu pengukuran dapat diminimalkan. Hal ini membuat perhitungan percepatan gravitasi menjadi lebih stabil dan mendekati nilai teoritis. Selain itu, penggunaan sensor dengan resolusi dan sensitivitas tinggi juga dapat membantu mendeteksi waktu ayunan secara lebih tepat dan konsisten.

2. Kalibrasi Sensor Secara Berkala:

Sensor yang digunakan, seperti sensor inframerah atau photodiode, sebaiknya dikalibrasi secara berkala agar tetap memberikan pembacaan yang konsisten dan akurat. Ini penting untuk menjaga stabilitas data yang dihasilkan dalam setiap percobaan.

3. Pengembangan Sistem Perangkat Lunak:

Sistem mikrokontroler dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan fitur penyimpanan data secara otomatis (misalnya ke kartu

SD), antarmuka serial untuk analisis lanjutan di komputer, atau bahkan konektivitas Bluetooth/Wi-Fi untuk monitoring jarak jauh.

4. Penyempurnaan Tampilan Hasil:

Untuk mempermudah pengguna dalam memahami hasil percobaan, tampilan LCD bisa ditingkatkan dengan layar berukuran lebih besar atau tampilan grafis yang menampilkan nilai-nilai dalam bentuk grafik, bukan hanya angka.

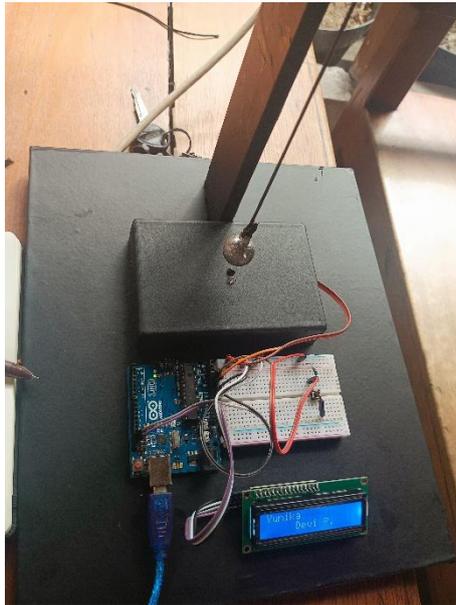
Dengan memperhatikan saran-saran di atas, diharapkan alat bandul sederhana berbasis *Arduino* Uno ini dapat terus dikembangkan dan digunakan secara lebih optimal baik dalam lingkup pendidikan maupun penelitian eksperimental dasar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Banzi, M., & Shiloh, A. (2014). *Getting Started with Arduino*. Maker Media, Inc.
- Feynman, R. P., Leighton, R. B., & Sands, M. (2011). *The Feynman Lectures on Physics*. Addison-Wesley. Oxford University Press.
- Giancoli, Douglas C. 2001. *Fisika Dasar Jilid Satu Edisi Kelima*. Jakarta : Erlangga.
- Giancoli, D. C. (2007). *Physics: Principles with Applications*. Pearson. Permission Departement.
- Giancoli, D. C. (2016). *Physics: Principles with Applications*. Pearson. Permission Departement.
- Halliday.2005. *Fisika Dasar*. Jakarta : Erlangga.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2005). *Fundamentals of Physics*. Wiley.
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics*. Wiley.
- Igoe, T. (2011). *Making Things Talk: Practical Methods for Connecting Physical Objects*. O'Reilly Media.
- Ishaq, Mohamad. 2007. *Fisika Dasar Edisi 2*. Yogyakarta : Graha Ilmu.
- Margolis, M. (2011). *Arduino Cookbook*. O'Reilly Media.
- Miller, E. (2015). *Getting Started with Arduino*. O'Reilly Media.
- Muspa, R., & Suwondo, N. (2020, September). *Pengembangan Perangkat Praktikum Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Pegas Berbasis Arduino-LinxLabview*. Penelitian Pembelajaran Fisika, 22, 165-175
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for Scientists and Engineers*. Cengage Learning.
- Snyder, R. (2016). *Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects*. O'Reilly Media.
- Suritno Fayanto, Yanti, Sari Pati, Erman Suwardi, Arwin Afiudin, Harfia Hartin Uleo, Sri Ayu Ningsih, Nanang Adrianto, & Abdulah Azam Undu. (2016). *Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi dengan Metode Bandul Sederhana*. Mahasiswa Jurusan Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan Universitas Halu Oleo.

- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2007). *Physics for Scientists and Engineers*. W. H. Freeman.
- Widyaseno, H., D., & Susilo. (2022). *Pengembangan Kit Praktikum Atwood Menggunakan Mikrokontroler STM32 Berbasis Pendekatan STEM*. Unnes Physics Education Journal, 49-56

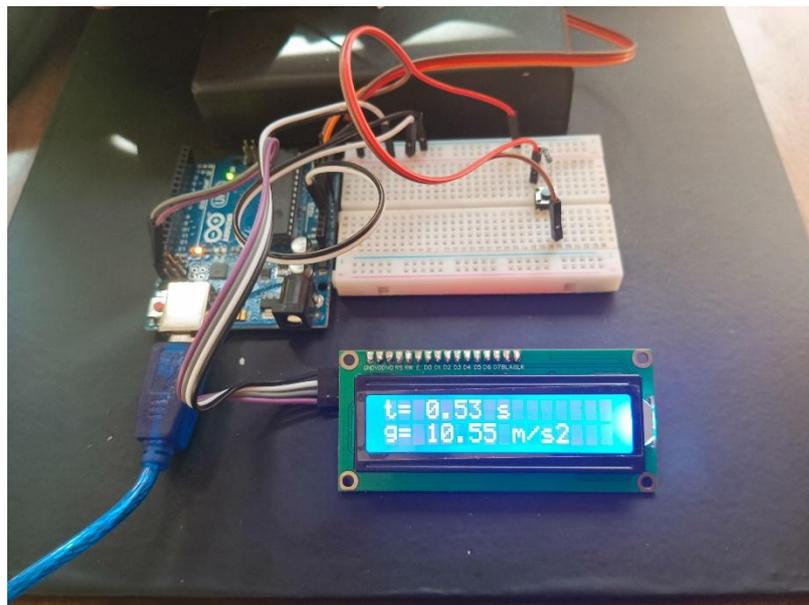
# LAMPIRAN

**Lampiran 1 Gambar**

Bandulan sederhana



Pengukur Panjang Tali



Rangkaian Alat *Arduino*

## Lampiran 2 Source Code

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
unsigned long mulai, selesai, dataStopWatch;
int i=0;
int fPaus = 0;
long lastButton = 0;
long delayAntiBouncing = 50;
long dataPaus = 0;
float distance = 0.3;
void setup(){
  Serial.begin (9600);
  pinMode(A0,INPUT);
  pinMode(A1,INPUT);
  digitalWrite(A0,1);
  digitalWrite(A1,1);
  lcd.begin(16,2);
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Welcome ");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(0, 0);
  lcd.print("Yunika ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("      Devi P.");
  delay(2000);
  lcd.clear();
  lcd.print(" Tekan Tombol");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(" Start / Stop");
}

void loop(){
if (digitalRead(A0)==0){
  if ((millis() - lastButton) > delayAntiBouncing){
    if (i==0){
      lcd.clear();
      mulai = millis();
      fPaus = 0;
    }
    else if (i==1){
      dataPaus = dataStopWatch;
      fPaus = 1;
    }
    i =!i;
  }
}
```

```

    }
    lastButton = millis();
}
else if (digitalRead(A1)==0 && fPaus == 1){
    dataStopWatch = 0;
    dataPaus = 0;
    lcd.clear();
    lcd.print("  Reset System");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("");
    delay(1000);
    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("Start");
}
if (i==1){
    selesai = millis();
    float jam, menit, detik, miliDetik, t;
    unsigned long over;
    // MATH time!!!
    dataStopWatch = selesai - mulai;
    dataStopWatch = dataPaus + dataStopWatch;
    jam = int(dataStopWatch / 3600000);
    over = dataStopWatch % 3600000;
    menit = int(over / 60000);
    over = over % 60000;
    detik = int(over / 1000);
    miliDetik = over % 1000;
    float waktu = detik+(miliDetik*0.001);
    t = waktu;
    float gravity = (4*9.86*distance)/(t*t);
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("t= ");
    lcd.print(t,4);
    lcd.print(" s   ");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("g= ");
    lcd.print(gravity,4);
    lcd.print(" m/s2   ");
    if (jam < 10){
        lcd.print(miliDetik, 0);
        lcd.print("   ");
    }
}
}

```

**Lampiran 3 Pengambilan Data**

<b>Panjang Tali</b>	<b>Periode (T) (s)</b>			<b>g Eksperimen (m/s<sup>2</sup>)</b>		
	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>	<b>0.3</b>	<b>0.4</b>	<b>0.5</b>
<b>Periode ke-1</b>	1.1066	1.2777	1.4284	9.6716	9.6730	9.6745
<b>Periode ke-2</b>	1.1055	1.2763	1.4266	9.6909	9.6942	9.6989
<b>Periode ke-3</b>	1.1046	1.2751	1.4252	9.7067	9.7125	9.7180
<b>Periode ke-4</b>	1.1039	1.2741	1.4241	9.7190	9.7277	9.7330
<b>Periode ke-5</b>	1.1032	1.2733	1.4231	9.7313	9.7400	9.7467
<b>Periode ke-6</b>	1.1026	1.2726	1.4224	9.7419	9.7507	9.7563
<b>Periode ke-7</b>	1.1021	1.2721	1.4217	9.7508	9.7584	9.7659
<b>Periode ke-8</b>	1.1017	1.2716	1.4212	9.7578	9.7660	9.7728
<b>Periode ke-9</b>	1.1013	1.2712	1.4208	9.7649	9.7722	9.7783
<b>Periode ke-10</b>	1.1010	1.2708	1.4204	9.7702	9.7783	9.7838