

**ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN GERAK
HARMONIS SEDERHANA DENGAN AYUNAN SEDERHANA BERBASIS
*IR OBSTACLE SENSOR DAN VIDEO TRACKER ANALYSIS***

SKRIPSI



Oleh

Arizal Afdholi NPM 15330034

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN
ALAM DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
NOVEMBER 2022**

**ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN GERAK
HARMONIS SEDERHANA DENGAN AYUNAN SEDERHANA BERBASIS
*IR OBSTACLE SENSOR DAN VIDEO TRACKER ANALYSIS***

Skripsi

Diajukan kepada Universitas PGRI Semarang
untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan
Program Sarjana Pendidikan Fisika



Oleh

Arizal Afdholi NPM 15330034

**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS PENDIDIKAN MATEMATIKA ILMU PENGETAHUAN
ALAM DAN TEKNOLOGI INFORMASI
UNIVERSITAS PGRI SEMARANG**

NOVEMBER 2022

HALAMAN PERSETUJUAN

Skripsi Berjudul

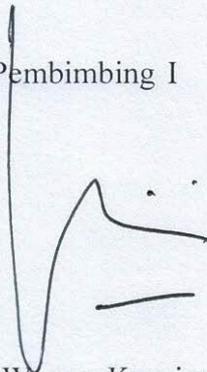
ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN GERAK
HARMONIS SEDERHANA DENGAN AYUNAN SEDERHANA BERBASIS
IR OBSTACLE SENSOR DAN VIDEO TRACKER ANALYSIS

yang disusun oleh Arizal Afdholi

NPM 15330034

Telah disetujui dan siap diujikan. Semarang, 18 November 2022

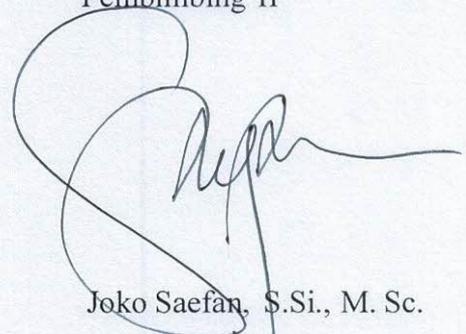
Pembimbing I



Wawan Kurniawan, S.Si., M. Si.

NPP. 088101212

Pembimbing II



Joko Saefan, S.Si., M. Sc.

NPP. 088101211

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi Berjudul

ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN GERAK
HARMONIS SEDERHANA DENGAN AYUNAN SEDERHANA BERBASIS
IR OBSTACLE SENSOR DAN VIDEO TRACKER ANALYSIS

Yang dipersiapkan dan disusun oleh Arizal Afdholi

NPM 15330034

telah dipertahankan di depan Dewan Penguji pada hari Jum'at, tanggal 18
November 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Pendidikan

Panitia Ujian

Ketua



Supandi, S.Si., M.Si.
NPP. 097401245



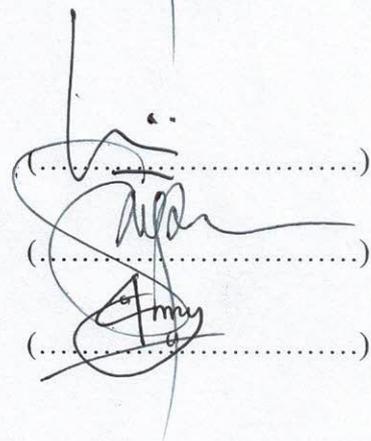
Sekretaris



Joko Saefan, S.Si., M.Sc.
NPP. 088101211

Anggota Penguji

1. **Wawan Kurniawan, S.Si., M.Si.**
NPP. 088101212
2. **Joko Saefan, S.Si., M.Sc.**
NPP. 088101211
3. **Ummi Kaltsum, S.Si., M.Sc.**
NPP. 128601369



PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa yang tertulis di dalam skripsi ini benar-benar hasil karya saya sendiri, bukan jiplakan dan/ atau karya tulis orang lain, baik sebagian atau seluruhnya. Pendapat atau temuan orang lain yang terdapat dalam skripsi ini dikutip atau dirujuk berdasarkan kode etik ilmiah.

Semarang, 18 November 2022



Arizal Afdholi

NPM. 15330034

ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN GERAK
HARMONIS SEDERHANA DENGAN AYUNAN SEDERHANA BERBASIS
IR OBSTACLE SENSOR DAN *VIDEO TRACKER ANALYSIS*

Arizal Afdholi

Jurusan S1 Pendidikan Fisika, FPMIPATI, Universitas PGRI Semarang

Email: arizalafdholi25@gmail.com

ABSTRAK

Percobaan eksperimen (praktikum) merupakan salah satu metode pembelajaran fisika yang ditempuh guru untuk membantu siswa memahami ilmu fisika. Salah satu proses praktikum dalam fisika yaitu mengenai percepatan gravitasi, umumnya penelitian untuk menentukan percepatan gravitasi menggunakan ayunan sederhana dilakukan dengan cara manual. Oleh karena itu dibutuhkan suatu terobosan penggunaan teknologi untuk mengatasi kendala dalam proses praktikum ayunan sederhana. Salah satunya menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*. Pada pelaksanaan percobaan praktikum ayunan sederhana ini diulang sebanyak 10 kali untuk analisis menggunakan *IR Obstacle Sensor* maupun *Video Tracker Analysis*. Hasil analisis data didapatkan nilai rata-rata percepatan gravitasi bumi ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* sebesar $(9.8429 \pm 0.7354) \text{ m/s}^2$, sedangkan nilai rata-rata percepatan gravitasi bumi ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis* sebesar $(9.64645 \pm 0.00000061564) \text{ m/s}^2$. Berdasarkan hasil tersebut penggunaan *software Video Tracker Analysis* lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan *IR Obstacle Sensor*, karena hasil data dari eksperimen menggunakan *Tracker* memiliki nilai Ketidakpastian Mutlak (Δg) yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan *Sensor*.

Kata kunci : Percepatan gravitasi, ayunan sederhana, *IR Obstacle Sensor*, *Video Tracker Analysis*.

ANALYSIS OF THE ACCELERATION OF GRAVITY USING SIMPLE
HARMONIC MOTION WITH SIMPLE PENDULUM BASED ON *IR*
OBSTACLE SENSOR AND VIDEO TRACKER ANALYSIS.

Arizal Afdholi

Undergraduate Degree Physics Education, FPMIPATI, PGRI Semarang
University

Email: arizalafdholi25@gmail.com

ABSTRACT

Experimental trials (practicum) are one of the physics learning methods that teachers take to help students understand physics. One of the practicum processes in physics is regarding the acceleration of gravity, generally research to determine the acceleration of gravity using a simple pendulum is done manually. Therefore a breakthrough is needed in the use of technology to overcome obstacles in the simple pendulum practicum process. One of them uses the *IR Obstacle Sensor* and *Video Tracker Analysis*. In the implementation of this simple pendulum practicum experiment, it was repeated 10 times for analysis using the *IR Obstacle Sensor* and *Video Tracker Analysis*. The results of data analysis showed that the average value of the acceleration of gravity on a simple pendulum using the *IR Obstacle Sensor* was $(9.8429 \pm 0.7354) \text{ m/s}^2$, while the average value of the acceleration of gravity on a simple pendulum using *Video Tracker Analysis* was $(9.64645 \pm 0.00000061564) \text{ m/s}^2$. Based on these results the use of the *Video Tracker Analysis* software is more accurate than using the *IR Obstacle Sensor*, because the results of the experimental data using the *Tracker* have a lower Absolute Uncertainty (Δg) value compared to using the *Sensor*.

Keywords : acceleration of gravity, simple pendulum, IR Obstacle Sensor, Video Tracker

KATA PENGANTAR

Puji Syukur kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN GERAK HARMONIS SEDERHANA DENGAN AYUNAN SEDERHANA BERBASIS *IR OBSTACLE SENSOR* DAN *VIDEO TRACKER ANALYSIS*” sebagai syarat untuk menyelesaikan program pendidikan S1.

Skripsi ini tidak akan selesai tanpa adanya bantuan dan dorongan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Wawan Kurniawan, S.Si., M.Si., dosen pembimbing I yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penulisan skripsi ini.
2. Joko Saefan, S.Si.,M.Sc., dosen pembimbing II yang telah membimbing, mengarahkan dalam penulisan skripsi ini
3. Ummi Kaltsum, S.Si., M.Sc., dosen penguji yang telah memberikan masukan dan saran dalam penyusunan skripsi ini.
4. Joko Saefan, S.Si.,M.Sc., Ketua Program Studi Pendidikan Fisika.
5. Supandi, S.Si., M.Si., Dekan FPMIPATI
6. Dr. Sri Suciati, M.Hum., Rektor Universitas PGRI Semarang.
7. Mila Amelia, Irma Wati, Wildatu Solihat, Yunnita Elsa Putri, adik jauh yang selalu memberi support dalam penyusunan skripsi dan penyelesaian skripsi ini.
8. Keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, semangat serta motivasi dalam penyusunan skripsi.
9. Teman-teman yang di Lab Pengembangan Fisika Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan bantuan, dukungan serta semangat.
10. Teman-teman di Universitas PGRI Semarang yang telah memberikan bantuan, dukungan serta semangat.
11. Semua pihak yang telah memberikan bantuan dan motivasi dalam penyelesaian skripsi ini.

Harapan penulis, mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi pembaca. Penulis menyadari dalam penulisan skripsi ini masih banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan saran dan kritik yang membangun demi kesempurnaan

penulisan selanjutnya. Semoga dengan adanya skripsi ini dapat memberikan manfaat kepada para pembaca khususnya bagi guru fisika dalam upaya meningkatkan kualitas praktikum ayunan sederhana di sekolah. Amin. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat.

MOTTO DAN PERSEMBAHAAN

Motto :

- Allah menganugerahkan Al-hikmah (kepahaman yang dalam tentang Al-Qur'an dan As-sunnah) kepada siapa yang Dia kehendaki. Barangsiapa dianugerahi karunia yang banyak hanya orang-orang berakAllah yang dapat mengambil pelajaran dari firman Allah (Al-Baqarah:269)
- Berusaha, pantang menyerah dan selalu berdoa dalam menjalani setiap kegiatan adalah kunci utama dalam meraih kelancaran dan kesuksesan.
- Setiap kesulitan dan musibah adalah hal yang dapat mendewasakan seseorang dalam melangkah kedepan menjadi lebih baik.
- Pandanglah masa lalu sebagai pengalaman, jalani masa kini penuh semangat, dan pikirkan masa depan sebagai tujuan hidup.
- *Man Jadda, Wa Jadda* (Siapa yang bersungguh-sungguh, maka dia akan dapatkan).

Persembahan :

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah, ku persembahkan karya skripsiku untuk :

- Kedua orang tuaku yang senantiasa mencurahkan segala kasih sayang serta memberikan dukungan baik secara moral, spiritual dan materi.
- Kakakku Hafidz Husaini, S.Pd. yang selalu memberikan doa, semangat dan nasehat.
- Keluarga besar Pendidikan Fisika Angkatan 2015 yang selalu memberikan motivasi kepada saya.
- Almamater tercinta Universitas PGRI Semarang.

DAFTAR ISI

Contents

HALAMAN SAMPUL	i
HALAMAN JUDUL	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	viii
MOTTO DAN PERSEMBAHAAN	x
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Permasalahan	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4
E. Definisi Istilah	5
BAB II TELAAH PUSTAKA DAN KERANGKA BERRPIKIR	7
A. Landasan Teori	7
B. Kerangka Berpikir	14
C. Hipotesis Penelitian	16
BAB III METODE PENELITIAN	17
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	17
B. Alat dan Bahan yang Digunakan	17
C. Variabel Penelitian	18

D.	Desain Eksperimen	19
E.	Prosedur Penelitian	20
F.	Analisis dan Interpretasi Data	21
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		25
A.	Hasil Penelitian.....	25
B.	Pembahasan	28
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....		32
A.	Kesimpulan.....	32
B.	Saran	32
DAFTAR PUSTAKA		33
LAMPIRAN		35

DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Data Hasil Praktikum Ayunan Sederhana.....	21
Tabel 4.1 Data Hasil Menggunakan <i>IR Obstacle Sensor</i>	24
Tabel 4.2 Hasil Analisis Data Menggunakan <i>IR Obstacle Sensor</i>	25
Tabel 4.3 Data Hasil Menggunakan <i>Video Tracker Analysis</i>	25
Tabel 4.4 Hasil Analisis Data Menggunakan <i>Video Tracker Analysis</i>	26

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Ayunan Sederhana.....	10
Gambar 2.2 <i>IR Obstacle Sensor</i>	12
Gambar 2.3 Bagan Kerangka Berpikir.....	15
Gambar 3.1 Desain Alat Peraga.....	20
Gambar 4.1 Interpretasi data <i>Video Tracker Analysis</i>	29

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Data hasil praktikum ayunan sederhana menggunakan <i>IR Obstacle Sensor</i>	36
Lampiran 2. Analisis data menentukan percepatan gravitasi (g) menggunakan <i>IR Obstacle Sensor</i>	39
Lampiran 3. Data hasil praktikum ayunan sederhana menggunakan <i>Video Tracker Analysis</i>	47
Lampiran 4. Analisis data menentukan percepatan gravitasi (g) menggunakan <i>Video Tracker Analysis</i>	50
Lampiran 5. Grafik yang ditampilkan pada <i>software Video Tracker Analysis</i>	58
Lampiran 6. Proses analisis di <i>software Video Tracker Analysis</i>	68
Lampiran 7. Proses kegiatan praktikum ayunan sederhana.....	72
Lampiran 8. Lembar pembimbingan skripsi.....	73

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pembelajaran fisika merupakan pembelajaran yang mengkaji tentang gejala alam yang dilakukan oleh peserta didik dan guru yang saling bersinergi untuk menemukan dan memahami suatu produk ilmiah berupa konsep, teori, prinsip, dan fakta melalui proses ilmiah. Pembelajaran fisika bukan hanya penguasaan tentang fakta-fakta, konsep-konsep, atau prinsip-prinsip saja tetapi juga merupakan proses penemuan. Proses penemuan gejala alam didalam pembelajaran fisika dapat ditinjau secara teoritis maupun percobaan eksperimen (praktikum). Percobaan eksperimen (praktikum) merupakan salah satu metode pembelajaran fisika yang ditempuh guru untuk membantu siswa memahami ilmu fisika. Dalam proses pelaksanaan praktikum di laboratorium tidak lepas dari pengamatan (*observation*) dan percobaan (*experimental*), keduanya sangat berkaitan erat karena akan berhubungan dengan hasil percobaan yang dilakukan. Pelaksanaan praktikum secara efektif merupakan salah satu syarat dalam pembelajaran fisika (Setyaningrum, 2013).

Pembelajaran fisika dengan metode praktikum sesuai dengan pendekatan ilmiah yakni terdiri atas kegiatan mengamati (untuk mengidentifikasi hal-hal yang ingin diketahui), merumuskan pertanyaan dan merumuskan hipotesis, mengumpulkan data dengan berbagai teknik, menganalisis data, dan menarik kesimpulan serta mengkomunikasikan hasil untuk memperoleh pengetahuan, keterampilan, dan sikap (Nasar, 2017).

Dalam proses praktikum fisika kemudahan dan kepraktisan dalam proses pelaksanaannya merupakan satu tuntutan yang harus diperhatikan karena selain dapat meningkatkan kinerja praktikum sekaligus dapat mengoptimalkan waktu kegiatan praktikum (Syahrul, 2013).

Salah satu proses praktikum dalam fisika yaitu mengenai percepatan gravitasi yang dikemukakan oleh Newton dalam risalah yang berjudul "*Mathematical Principles of Natural Philosophy*" pada tahun 1687. Issac Newton mendapatkan pemikiran tentang teori gravitasi ketika sedang duduk dibawah pohon

apel dan beberapa buah apel mengenai kepalanya. Karena bumi tidak berbentuk bola maka besar nilai percepatan gravitasi tidak sama untuk setiap tempat di permukaan bumi, nilai percepatan gravitasi berkisar antara $9,8 \text{ m/s}^2$ sampai 10 m/s^2 (Tipler, 1998).

Penentuan percepatan gravitasi bumi dapat dilakukan dengan beberapa cara diantaranya dengan menggunakan sistem pegas-massa, gerak parabolik dan ayunan bandul sederhana. Penentuan nilai gravitasi bumi yang akan dilakukan dalam penelitian ini yaitu menggunakan sistem ayunan sederhana, dimana cara ini lebih mudah dilakukan dan tidak membutuhkan peralatan yang banyak. Selain itu penelitian ini sangat penting dilakukan karena dapat membantu pembelajaran fisika dalam pembuktian teori gravitasi bumi secara eksperimen.

Ayunan sederhana merupakan suatu benda yang digantungkan Pada suatu titik tetap dengan seutas tali yang dianggap tidak bermassa, kemudian tali tersebut disimpangkan sebesar sudut θ terhadap garis vertikal. Kemudian diperoleh data panjang tali dan periode ayunan yang selanjutnya dianalisis dengan berbagai metode pengukuran (Bevington & Robinson, 2003).

Umumnya penelitian untuk menentukan percepatan gravitasi menggunakan ayunan sederhana masih banyak dilakukan dengan cara manual baik yang dilakukan oleh siswa maupun yang dicontohkan oleh guru dengan cara mengukur waktu ayunan bandul menggunakan *stopwatch*. Namun eksperimen manual ini akan membuat siswa merasa bosan, kurang menarik, dan proses kerjanya yang lama, serta eksperimen manual seperti ini rentan terjadi kesalahan terutama terkait akurasi waktu.

Oleh karena itu dibutuhkan suatu terobosan penggunaan teknologi untuk mengatasi kendala keterbatasan kemampuan pengamatan manusia dan untuk meminimalisir kesalahan pengukuran dalam proses praktikum ayunan sederhana. Salah satunya menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*. Dengan menggunakan *sensor* dan *software* tersebut, posisi dan waktu ayunan bandul dapat ditampilkan dengan lebih akurat.

IR Obstacle Sensor merupakan pendeteksi halangan menggunakan pantulan cahaya infrared, ketika terdapat halangan atau objek didepan sensor maka nilai yang dihasilkan adalah *HIGH* atau *LOW*, sensor akan bernilai *LOW* jika mendeteksi ada penghalang didepannya dan bernilai *HIGH* jika tidak ada penghalang.

Praktikum ayunan sederhana biasanya menggunakan ayunan matematis, dan stopwatch yang dipegang oleh praktikan. Jika praktikan kurang teliti, maka hasil perhitungan periodenya akan menjadi tidak akurat. Kesalahan yang sering terjadi pada praktikum ayunan sederhana adalah ketidakakuratan hasil perhitungan waktu yang berdampak pada hasil perhitungan periode. Untuk itu, dikembangkanlah alat pendulum sederhana bersensor, prinsip kerja yang digunakan sama dengan alat praktikum ayunan sederhana yang biasa digunakan, namun pendulum sederhana bersensor dilengkapi dengan *IR Obstacle Sensor* dan dibangun berbasis *Arduino Uno* yang memungkinkan adanya perhitungan waktu secara otomatis.

Salah satu aplikasi yang dapat dimanfaatkan untuk membantu peserta didik dalam mempelajari berbagai fenomena gerak dua dimensi adalah *Video Tracker Analysis*. Dengan melalui proses aktivitas perekaman suatu fenomena gerak dengan menggunakan perekaman video handphone, kemudian hasil rekaman tersebut diolah di aplikasi, maka peserta didik dapat memperoleh beragam informasi seperti grafik benda pada tiap waktu.

Dengan adanya aplikasi *Video Tracker Analysis*, minat belajar siswa meningkat karena cara mengukurnya mudah tanpa harus menghitung secara manual dan hasilnya lebih mudah terbaca dan proses pengukurannya cepat. Tetapi, aplikasi *Video Tracker Analysis* juga memiliki kelemahan dalam mengukur karena ketika kita melakukan percobaan ayunan sederhana maka ayunannya harus jelas, menggunakan kamera yang bagus dan usahakan kamera tidak goyang sehingga video yang dihasilkan akan terbaca jelas oleh aplikasi *Video Tracker Analysis*.

Dalam penelitian ini akan dilakukan praktikum penggunaan *IR Obstacle Sensor* berbasis *Arduino Uno* dan *Video Tracker Analysis* untuk menganalisis

percepatan gravitasi pada ayunan sederhana. Penelitian ini diharapkan dapat mengetahui nilai perbandingan percepatan gravitasi tersebut.

B. Permasalahan

Dari uraian yang dikemukakan diatas, maka peneliti mengangkat permasalahan tentang :

1. Sejauh mana perbedaan akurasi *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis* dalam praktikum ayunan sederhana?
2. Bagaimanakah hasil analisis percepatan gravitasi pada ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang diatas dan permasalahan yang muncul, maka penelitian ini memiliki tujuan untuk :

1. Membuat analisis percepatan gravitasi pada ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*.
2. Mengetahui hasil analisis percepatan gravitasi pada ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan berdasarkan permasalahan dan tujuan penelitian ini adalah :

1. Bagi Siswa
Diharapkan dengan pemanfaatan teknologi pada kegiatan praktikum fisika dapat menanamkan dipak ilmiah dan melatih keterampilan siswa, sehingga membuat siswa lebih memahami konsep teori-teori fisika.
2. Bagi Guru
Diharapkan guru dapat memperbaiki kekurangan dalam pelaksanaan kegiatan praktikum fisika dimasa yang akan datang, guru perlu mempertimbangkan untuk memanfaatkan teknologi yang dapat membantu siswa dalam mengambil data, menyajikan data, dan menginterpretasi data hasil praktikum fisika dengan lebih akurat.

3. Bagi Sekolah

Diharapkan sekolah dapat memberi gambaran tentang permasalahan proses dan kendala dalam kegiatan praktikum fisika, diharapkan pihak sekolah dapat memberikan sumbangan pemikiran bagi pemerintah untuk memecahkan persoalan yang muncul.

4. Bagi Peneliti

Diharapkan penulis memperoleh tambahan pengetahuan dan wawasan untuk menciptakan pembelajaran praktikum fisika yang inovatif dan menarik.

E. Definisi Istilah

Untuk menghindari penafsiran yang berbeda terhadap apa yang akan diteliti, beberapa istilah yang akan digunakan dalam penelitian ini dijelaskan sebagai berikut :

1. Analisis

Menurut Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI, 2008) analisis adalah penyelidikan terhadap suatu peristiwa (karangan, perbuatan, dan sebagainya) untuk mengetahui keadaan yang sebenarnya (sebab-musabab, duduk perkaranya, dan sebagainya).

2. Percepatan Gravitasi

Percepatan gravitasi adalah perubahan kecepatan gaya tarik bumi terhadap suatu benda yang dipengaruhi oleh jauh dekatnya benda terhadap pusat bumi.

3. Ayunan Sederhana

Ayunan sederhana adalah sebuah alat yang terdiri dari sebuah benda yang bermassa digantung pada tali yang ringan, ketika ayunan ditarik ke bagian samping dari posisi setimbangnya dan kemudian dilepaskan, maka massa benda akan berayun secara vertikal kebawah karena adanya pengaruh gravitasi.

4. *IR Obstacle Sensor*

IR Obstacle Sensor merupakan sebuah modul yang berfungsi sebagai pendeteksi halangan atau objek didepannya.

5. *Video Tracker Analysis*

Video Tracker Analysis merupakan sebuah perangkat lunak yang mampu menganalisis fenomena gerak dan optik melalui aktivitas perekaman suatu fenomena gerak yang nyata dengan menggunakan perekam video.

BAB II

TELAAH PUSTAKA DAN KERANGKA BERRPIKIR

A. Landasan Teori

1. Percepatan Gravitasi

Percepatan gravitasi adalah perubahan kecepatan gaya tarik bumi terhadap suatu zat atau benda, dimana gravitasi sendiri merupakan gejala adanya interaksi yang berupa gaya tarik menarik antara benda-benda dengan pusat yang ada di alam ini. Percepatan gravitasi suatu objek yang berada pada permukaan laut dikatakan ekuivalen dengan 1 gram umumnya digunakan nilai $9,81 \text{ m/s}^2$ sampai 10 m/s^2 , karena bumi tidak berbentuk bola maka besarnya percepatan gravitasi tidaklah sama untuk setiap tempat di permukaan bumi (Tipler, 1998).

Hukum Gravitasi Universal Newton menyebutkan bahwa setiap massa titik menarik semua massa titik lainnya dengan gaya segaris dengan garis yang menghubungkan kedua titik. Besar gaya tersebut berbanding lurus dengan perkalian kedua massa tersebut dan berbanding terbalik dengan kuadrat jarak antara kedua massa titik tersebut (Giancoli, 2009). Menurut Newton dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut :

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad (2.1)$$

Dengan menggunakan m_1 sebagai massa bumi dan m_2 sebagai objek yang bermassa m dan r sebagai jari-jari bumi, maka persamaan menjadi (Halliday dan Resnick, 2010) :

$$F = G \frac{M_B m}{r_B^2} \quad (2.2)$$

Keterangan :

- F : gaya tarik menarik antara massa M dan m (N)
- M_B : massa bumi ($5,98 \times 10^{24}$ kg)
- m : massa benda (kg)
- r_B : jari-jari bumi ($6,38 \times 10^6$ m)

G : tetapan gravitasi ($6,67 \times 10^{11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

Berdasarkan Hukum II Newton, gaya yang bekerja pada benda bermassa m akan mengalami percepatan a dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$F = m \cdot a \quad (2.3)$$

Jika persamaan (2.2) dan persamaan (2.3) digabungkan, maka akan didapatkan :

$$m \cdot a = G \frac{M_B m}{r_B^2} \quad (2.4)$$

Sehingga :

$$a = G \frac{M_B}{r_B^2} \quad (2.5)$$

Dengan menggantikan percepatan a menjadi percepatan gravitasi bumi g , maka :

$$g = G \frac{M_B}{r_B^2} \quad (2.6)$$

Keterangan :

g : percepatan gravitasi (m/s^2)

M_B : massa bumi ($5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$)

r_B : jari-jari bumi ($6,38 \times 10^6 \text{ m}$)

G : tetapan gravitasi ($6,67 \times 10^{11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2$)

Percepatan gravitasi ini dipengaruhi oleh jauh dekatnya suatu zat atau benda terhadap pusat bumi. Semakin jauh dari pusat bumi, maka semakin kecil percepatan gravitasinya. Begitu juga sebaliknya, semakin dekat suatu zat atau benda dengan pusat bumi, maka percepatan gravitasinya akan semakin besar.

2. Gerak Harmonis Sederhana

Gerak harmonis sederhana adalah perubahan posisi suatu benda terhadap titik setimbangnya karena pengaruh dari gaya pemulihnya (Ishaq, 2007). Gerak harmonis sederhana mempunyai persamaan gerak dalam

bentuk sinusoidal dan digunakan untuk menganalisis suatu gerak periodik tertentu.

Menurut (Oliver, 1997). Gerak harmonis sederhana dapat dibedakan menjadi 2, yaitu :

1. Gerak Harmonis Sederhana Linear.

Misalnya : penghisap silinder dalam gas, gerak osilasi air raksa, gerak osilasi air dalam pipa U, gerak horizontal pegas, gerak vertikal pegas.

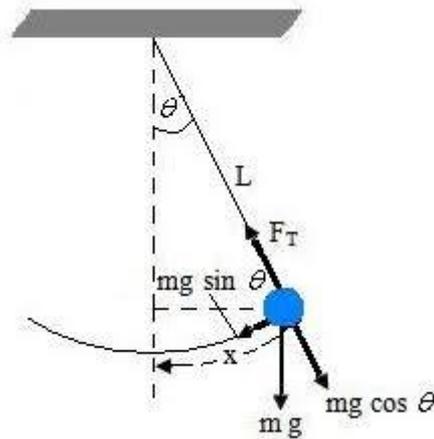
2. Gerak Harmonis Sederhana Anguler.

Misalnya : gerak pada bandul fisis, dan ayunan torsi.

Gerak harmonis sederhana yang didefinisikan dalam penelitian ini adalah gerak periodik yang dilakukan sebuah benda karena gaya pemulih yang bekerja pada benda tersebut. Gerak harmonis sederhana yang menjadi fokus penelitian ini adalah ayunan sederhana. Gerakan pendulum yang berayun dengan sudut yang kecil menyebabkan gerak harmonis sederhana.

3. Ayunan Sederhana

Ayunan sederhana merupakan bandul yang diikat dengan benang yang memenuhi persamaan matematis yaitu persamaan diferensial orde 2 (Suciarahmat & Pramudya, 2015). Secara nyata ayunan bandul tidaklah sepenuhnya harmonis, karena berapapun lamanya berosilasi akhirnya bandul akan diam, dengan demikian terdapat gesekan antara bandul dengan udara sekitarnya sehingga gerak bandul menjadi terhambat. Untuk mendorong terjadinya osilasi harmonis berat benang jauh lebih kecil dibandingkan dengan berat bandul serta sudut simpangan bandul harus kecil. Ayunan sederhana dapat ditunjukkan dengan gambar 2.1.



Gambar 2.1 ayunan sederhana

Pada saat bandul berada pada sudut simpangan θ (simpangan maksimum) terhadap garis vertikal maka bekerja gaya F_1 ke arah kanan dan gaya F_2 ke arah kiri.

$$F = m \cdot a$$

$$-mg \sin \theta = m \frac{d^2s}{dt^2} \quad (2.7)$$

Untuk sudut θ tanda negatif menunjukkan arah gaya pulih berlawanan dengan sudut simpangan θ yang kecil, sehingga $\sin \theta = \theta = L \cdot \theta$, dengan S adalah busur lintasan benda dan L adalah panjang tali (Prasetio, 1992). Bandul ditarik kemudian dilepas dari titik kesetimbangannya memberikan sudut simpangan θ yang kecil, maka persamaannya menjadi :

$$F = -\frac{mg}{L} S$$

Jika gaya gesekan terhadap udara dan gaya puntiran pada tali diabaikan, maka persamaan (2.7) menjadi :

$$\frac{d^2s}{dt^2} = -g \sin \theta$$

$$\frac{d^2(L \cdot \theta)}{dt^2} = -g \sin \theta$$

$$L \frac{d^2\theta}{dt^2} = -g \sin \theta$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{g}{L} \theta$$

$$\theta = \theta_{max} \omega t$$

$$\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\omega^2 \theta = -\frac{g}{L} \theta$$

$$\omega^2 = \frac{g}{L} \quad (2.8)$$

Dengan memasukkan persamaan $\omega = 2\pi f$ ke persamaan (2.8), maka diperoleh :

$$(2\pi f)^2 = \frac{g}{L}$$

$$g = 4\pi^2 f^2 L$$

$$g = 4\pi^2 \left(\frac{1}{T}\right)^2 L$$

$$g = 4\pi^2 \frac{1}{T^2} L$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{g} L \quad (2.9)$$

Dari persamaan (2.9), maka persamaan percepatan gravitasi menjadi :

$$g = \frac{4\pi^2 L}{T^2} \quad (2.10)$$

Supaya diperoleh data yang teliti, perlu diperhatikan persyaratan sebagai berikut (Tipler, 1998):

1. Tali penggantung harus lebih ringan dari massa benda.
2. Simpangan harus kecil ($\theta < 10^0$).
3. Gesekan dengan udara harus sangat kecil.
4. Gaya puntiran tidak boleh terjadi.

4. IR Obstacle Sensor

IR Obstacle Sensor adalah sebuah sensor yang dapat mendeteksi rintangan menggunakan pantulan cahaya infrared. Ketika sensor mendeteksi sebuah halangan didepan sensor maka akan diperoleh pantulan cahaya dengan intensitas yang diatur sensitivitasnya oleh potensiometer.

Komponen yang terdapat didalam sensor ini terdiri dari *IR emitter* dan *IR receiver*. *IR emitter* bertugas memantulkan infrared ke rintangan atau objek yang ada di depannya, cahaya terpantul itu kemudian akan diterima oleh *IR receiver*. Dibawah ini adalah tampilan dari *IR Obstacle Sensor*.



Gambar 2.2 IR Obstacle Sensor

Keterangan :

Tegangan kerja 3V sampai 5V

Menggunakan comparator LM393 yang stabil

Jarak deteksi : 2 cm sampai 30 cm dengan sudut 35 derajat

Ukuran board : 3.1 cm x 1.5 cm

IR Obstacle Sensor dapat digunakan untuk berbagai keperluan seperti :

1. Robot line follower.
2. Robot halang rintang.
3. Mendeteksi objek yang lewat. Dll.

5. Software Video Tracker Analysis

Tracker merupakan sebuah perangkat lunak yang mampu menganalisis dan memodelkan fenomena gerak dan optik, software ini bersifat tak berbayar yang dikembangkan oleh Open Source Physics (OSP) dengan menggunakan kerangka kerja Java (Wee & Lee, 2011).

Secara sederhana, *Tracker* mempunyai kemampuan untuk melakukan *track* pada gerak suatu objek sehingga dapat diperoleh berbagai informasi yang dibutuhkan dalam analisis suatu peristiwa gerak. Melalui aktivitas perekaman suatu fenomena dengan menggunakan perekam video, maka hasil rekaman video tersebut dapat diolah pada aplikasi tracker, sehingga mempermudah untuk menganalisis fenomena gerak tersebut.

Pada umumnya alat-alat ukur memiliki skala. Pada skala terdapat goresan besar dan kecil. Goresan besar dibubuhi dengan angka yang sesuai dengan besaran yang diukur, sedangkan goresan kecil tidak dibubuhi angka. Jarak antara dua goresan terdekat disebut dengan Nilai Skala Terkecil (NST). NST menunjukkan tingkat ketelitian suatu alat ukur yang digunakan

untuk mengukur suatu besaran. Pada *software Video Tracker Analysis* Nilai Skala Terkecil (NST) sebesar 0.033 s. Jadi pada proses analisis *Tracker* per *frame* video menghasilkan 0.033 s.

Berikut ini langkah-langkah standar yang harus dilakukan dalam menggunakan tracker untuk menganalisis suatu gerak :

1. Menginstall Program

Video Tracker Analysis & Modelling Tools merupakan aplikasi tak berbayar yang bisa diakses secara bebas. Program ini dapat di unduh melalui alamat <https://physlets.org/tracker/>. Setelah berhasil mengunduh, lakukan proses instalasi pada komputer.

2. Merekam Fenomena Gerak

Prinsip kerja tracker adalah menganalisis fenomena gerak yang sudah terekam dalam bentuk file video. Oleh karena itu, langkah awal yang harus dilakukan adalah menyiapkan video gerak yang akan dianalisis. Untuk memperoleh video yang dapat dianalisis, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan :

- a. Memilih objek dengan warna yang cukup cerah.
- b. Memilih warna objek benda yang bergerak harus cukup kontras dibandingkan warna background.
- c. Melakukan pengambilan video hingga beberapa kali untuk memperoleh hasil yang terbaik.

3. Membuka Program

Membuka program tracker yang sudah di install dengan melakukan double click shortcut tracker pada desktop komputer.

4. Memasukkan Video

Pilih menu File > Open File dibagian pojok kiri, setelah itu carilah file video tentang gerak yang sudah disimpan di komputer sebelumnya.

5. Memilih Frame Video

Jika video sudah berhasil dimasukkan dalam ruang kerja tracker, langkah selanjutnya adalah memilih bagian video yang akan dianalisis. Caranya adalah putar dulu video hingga diketahui bagian

mana yang perlu dianalisis, lalu tentukan pada frame berapa video akan dimulai (start) dan pada frame ke berapa video akan diakhiri (finish) untuk kepentingan analisis.

6. Kalibrasi Panjang

Langkah selanjutnya adalah memberi definisi panjang (kalibrasi). Caranya adalah, klik Calibration Tools > New > Calibration stick sehingga muncul garis berwarna biru pada ruang kerja tracker.

7. Membuat Point Mass

Point Mass digunakan untuk membidik benda yang akan dianalisis. Klik menu Track > New > Point Mass sehingga akan muncul box bertuliskan Point Mass A.

8. Membuat Jalur Gerakan Benda

Klik box Point Mass A > Autotracker, sehingga akan muncul Autotracker box. Tekan tombol Shift + Ctrl pada keyboard secara bersamaan kemudian taruh kursor diatas permukaan objek (bola), sehingga akan mengaktifkan tombol “search” pada autotracker box. Kemudian klik tombol “search” sehingga objek (bola) akan bergerak otomatis. Jika langkah ini sudah dilaksanakan, maka di layar sebelah kanan secara otomatis akan muncul grafik dan tabel waktu (t) dan posisi (x & y).

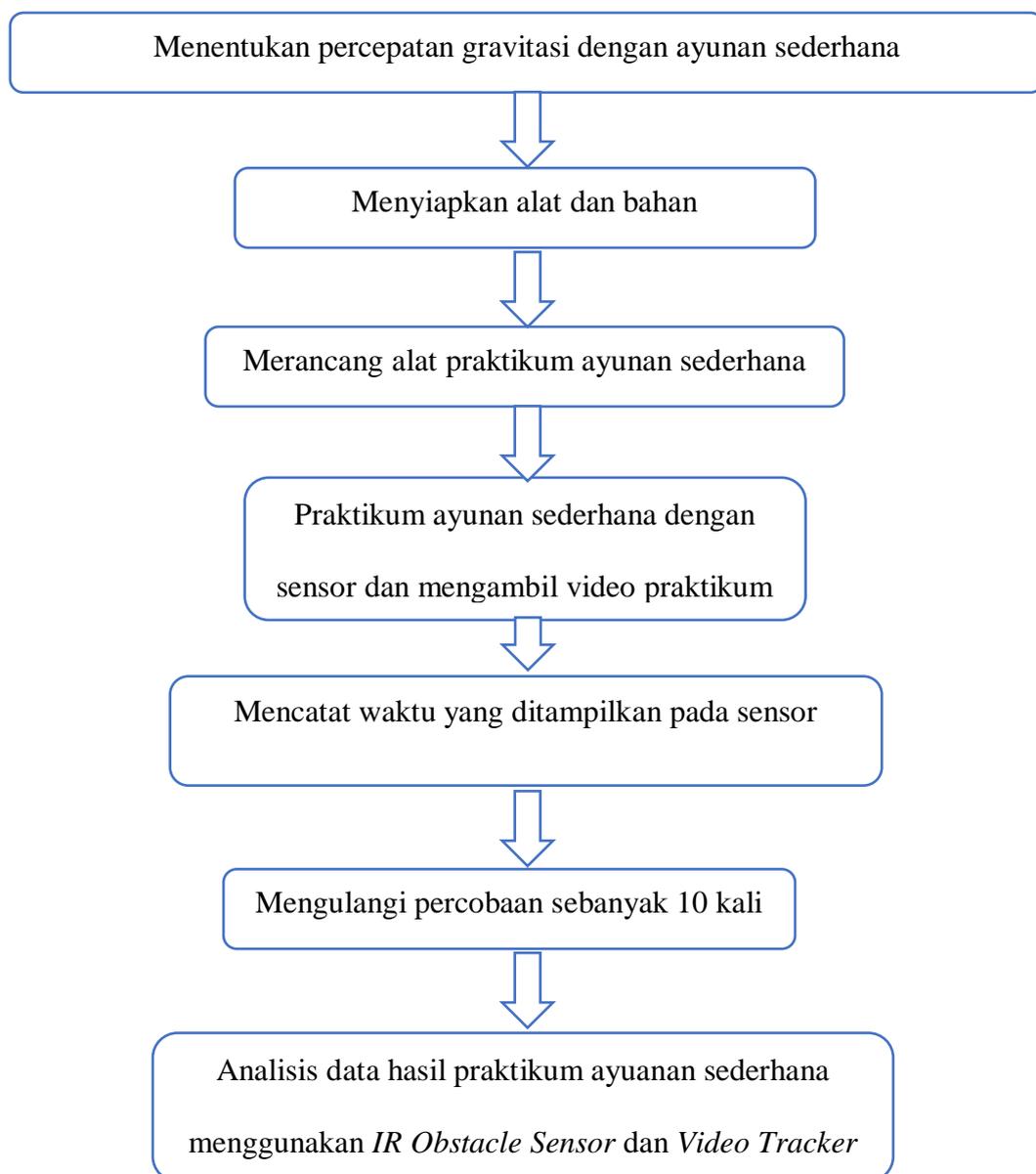
B. Kerangka Berpikir

Hal yang mendasari peneliti melakukan penelitian ini adalah pada percobaan praktikum ayunan sederhana di sekolah biasanya guru masih menggunakan ayunan matematis dan stopwatch untuk menghitung waktu secara manual. Jika praktikan kurang teliti, maka akan menghasilkan data periode yang tidak akurat. Untuk itu dikembangkanlah alat pendulum sederhana dengan menggunakan *IR Obstacle Sensor* yang dibangun berbasis *Arduino Uno* yang memungkinkan adanya perhitungan waktu secara otomatis.

Dalam penelitian ini peneliti juga menggunakan aplikasi *Video Tracker Analysis* dengan melalui proses perekaman video saat proses praktikum ayunan sederhana, kemudian hasil perekaman video tersebut dimasukkan dalam aplikasi sehingga peserta didik dapat memperoleh beragam informasi seperti data waktu

ayunan dan grafik tiap waktu.

Penelitian ini akan dilakukan perbandingan praktikum ayunan sederhana dengan menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan aplikasi *Video Tracker Analysis* untuk menentukan nilai percepatan gravitasi. Dimana pada praktikum ayunan sederhana akan dilakukan pengukuran berulang sebanyak 10 kali, setelah itu data waktu yang didapatkan dari hasil praktikum akan dianalisis untuk menentukan nilai percepatan gravitasi. Adapun kerangka berfikir dari penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Bagan kerangka berfikir

C. Hipotesis Penelitian

Hipotesis merupakan suatu jawaban yang sementara terhadap permasalahan penelitian, sampai terbukti melalui data yang terkumpul (Arikunto, 2013).

Pembuktian atau pengujian hipotesis dilakukan melalui bukti-bukti secara empiris, yakni melalui data atau data-data di lapangan. Ini berarti kebenaran hipotesis harus didukung oleh data atau fakta, bukan semata-mata oleh penalaran.

Berdasarkan kajian teori dan kerangka berpikir, maka hipotesis penelitian yang diajukan adalah :

H_0 : Tidak ada perbedaan keakuratan antara hasil analisis ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*.

H_1 : Ada perbedaan keakuratan antara hasil analisis ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*.

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

1. Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian adalah tempat dimana proses studi yang digunakan untuk memperoleh pemecahan masalah penelitian berlangsung (Hamid Darmadi, 2011). Lokasi penelitian eksperimen ini dilakukan di Laboratorium Fisika Dasar Gedung Utama Lantai 2 Universitas PGRI Semarang Jl. Sidodadi Timur No.24 Dr. Cipto, Karangtempel, Semarang Timur. Penelitian ini merupakan penelitian praktikum fisika dasar dengan subjek penelitian berupa alat peraga pendulum sederhana sebagai sumber data penelitian.

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada 26 September 2022 – 21 Oktober 2022. Penelitian ini diawali dengan tahap persiapan alat dan bahan yang dilakukan

B. Alat dan Bahan yang Digunakan

Berikut peralatan dan bahan yang digunakan dalam melaksanakan penelitian ini adalah :

a. Statif

Statif berfungsi sebagai tiang penggantung bandul penggati

b. Tiang sensor pendulum sederhana

Tiang sensor terdiri dari papan akrilik yang telah di desain untuk dipasang sensor dan port jack audio 3.5 mm. Sensor yang digunakan akan sensor gerak yang dapat mendeteksi gerakan yang melewatinya.

c. Papan kayu

Papan kayu berfungsi sebagai tempat statif dan sensor agar berada dalam posisi stabil dan tidak bergerak ketika bandul pengganti berayun.

d. Kotak pendulum digital

Kotak pendulum digital berisi komponen elektronika yang menjadi otak dalam *stopwatch* otomatis ketika bandul pengganti berayun.

e. Lengan statif

Lengan statif berfungsi sebagai tempat bergantung tali yang menghubungkan statif dengan bandul pengganti.

f. Benang

Benang berfungsi sebagai media agar bandul pengganti dapat berayun. Benang yang digunakan bermassa ringan dan tipis sehingga hambatan pada benang diabaikan dalam praktikum ini.

g. Bandul pengganti

Bandul pengganti berfungsi sebagai pemberat pada tali agar dapat terjadi ayunan sederhana.

h. Adaptor

Adaptor berfungsi sebagai pengubah arus dari sumber listrik PLN agar sesuai dengan yang dibutuhkan oleh kotak pendulum digital

i. Kabel jack audio 3.5 mm

Kabel jack audio berfungsi sebagai penghubung antara sensor dan kotak pendulum digital, sehingga kotak pendulum dapat menerima informasi tentang ayunan yang terjadi.

j. Busur derajat

Busur derajat berfungsi sebagai alat ukur derajat untuk menentukan jauhnya simpangan bandul pengganti.

k. Smartphone (HP)

Smartphone berfungsi sebagai alat untuk mengambil video ketika praktikum sedang berlangsung.

l. Software video tracker

Software video tracker berfungsi sebagai analisis video praktikum.

C. Variabel Penelitian

Variabel penelitian adalah konsep yang mempunyai bermacam-macam nilai atau mempunyai nilai yang bervariasi, yakni suatu sifat, karakteristik, atau fenomena yang dapat menunjukkan sesuatu untuk dapat diamati atau diukur yang nilainya berbeda-beda atau bervariasi (Silaen,

2018). Dalam penelitian ini terdapat berbagai variabel yang telah ditentukan untuk diteliti. Variabel yang ada pada penelitian ini yaitu variabel bebas, variabel terikat, dan variabel kontrol.

Variabel bebas atau variabel independen adalah variabel yang mempengaruhi atau menjadi sebab perubahannya atau timbulnya variabel terikat (Sugiyono, 2016). Dalam penelitian ini variabel bebas (independen) adalah massa.

Variabel terikat atau variabel dependen adalah variabel yang dipengaruhi atau yang menjadi akibat karena adanya variabel bebas (Sugiyono, 2016). Dalam penelitian ini variabel terikat (dependen) adalah periode.

Variabel kontrol adalah variabel yang dikendalikan atau dibuat konstan sehingga pengaruh variabel bebas (independen) terhadap variabel terikat (dependen) tidak dipengaruhi oleh faktor luar yang tidak diteliti (Sugiyono, 2016). Dalam penelitian ini variabel kontrol adalah panjang tali.

D. Desain Eksperimen

Desain eksperimen pada penelitian ini berupa desain alat peraga pendulum sederhana untuk menganalisis percepatan gravitasi.

Pendulum digital ini memiliki sistem kerja yang sederhana. Ketika tombol ON dinyalakan, maka layar akan hidup dan siap untuk mulai mendeteksi ayunan.

Hal yang perlu diperhatikan saat akan memulai praktikum adalah menekan tombol mulai saat ayunan telah mencapai keadaan harmonis dan memastikan bandul telah berada dalam posisi sejajar dengan sensor. Jika bandul tidak dalam posisi sejajar, maka sensor tidak mampu mendeteksi gerakan bandul. Jika tombol mulai ditekan, maka pewaktu akan aktif dan sensor akan menyala secara otomatis maka pendeteksian pun dimulai. Pewaktu telah diprogram untuk berhenti secara otomatis dan layar LCD akan menampilkan waktu selama 10 ayunan. Penghitung ayunan mungkin akan terus menghitung banyaknya ayunan, namun pewaktu telah berhenti pada ayunan ke-10.

Untuk memulai mengulangi praktikum, praktikan hanya perlu menekan tombol *reset* dan tombol mulai agar dalam posisi *off*. Dalam penelitian ini juga akan ditambahkan alat perekam yang bertujuan untuk mengambil rekaman video yang akan dianalisis di *software video TRACKER*. Desain alat peraga pendulum digital disajikan seperti gambar 3.1



Gambar 3.1. Desain alat peraga pendulum digital

Sama seperti pada umumnya alat-alat ukur yang memiliki skala. Pada alat peraga pendulum digital juga memiliki Nilai Skala Terkecil (NST). NST menunjukkan tingkat ketelitian suatu alat ukur yang digunakan untuk mengukur suatu besaran. Pada alat peraga pendulum digital Nilai Skala Terkecil (NST) sebesar 0.001 s atau 1 millisecond.

E. Prosedur Penelitian

Berikut ini adalah langkah-langkah dalam melakukan penelitian pendulum digital :

- a. Menyusun statif, lengan statif, papan kayu dan tiang sensor menjadi satu kesatuan.

- b. Menghubungkan setiap konektor sesuai dengan *port*-nya, misal konektor adaptor ke *port* adaptor dan konektor *jack audio* ke *port jack audio* yang ada di tiang sensor.
- c. Menimbang bandul pengganti dengan neraca dan catat hasilnya.
- d. Memasang bandul pengganti pada lengan statif dan pastikan posisi bandul terbaca oleh sensor dengan mensejajarkan posisi bandul dan sensor pada tiang sensor.
- e. Mengukur panjang tali yang digunakan untuk menggantungkan bandul pengganti dan catat hasilnya.
- f. Memberi simpangan kecil pada bandul pengganti, biarkan beberapa saat. Jika sudah mencapai keadaan harmonis, tekan tombol mulai untuk memulai perhitungan ayunan.
- g. Mengamati ayunan dan angka yang ditampilkan layar LCD dan pastikan sensor bekerja dengan baik.
- h. Mencatat waktu yang ditampilkan pada layar LCD pada sebuah tabel.
- i. Mengulangi langkah diatas dengan bandul yang sama hingga 10 kali percobaan. Dengan catatan untuk memulai perhitungan kembali, tekan tombol mulai hingga menjadi tombol off dan tekan tombol reset.

F. Analisis dan Interpretasi Data

1. Analisis data

Data yang diperoleh dari percobaan praktikum merupakan waktu (t) yang dilakukan ayunan sederhana. Sehingga periode ayunan sederhana dapat ditentukan dengan persamaan :

$$T = \frac{1}{f} \text{ atau } T = \frac{t}{n}$$

Tabel 3.1 Data hasil praktikum ayunan sederhana

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)
1.				

2.				
3.				
4.				
5.				
6.				
7.				
8.				
9.				
10.				

Pada penelitian ini analisis data eksperimen menggunakan teori ralat pengamatan dan teori ralat perambatan.

a. Ralat pengamatan

Nilai terbaik terbolelah jadi dari suatu pengukuran besaran x yang dilakukan sebanyak n kali dengan hasil tiap kali x yang besarnya $x_1 : x_2 : x_3 \dots \dots \dots x_n$ nilai rerata dari hasil ukur itu (\bar{x}) adalah :

$$\bar{x} = \frac{\sum_i^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Selisih atau penyimpangan antara nilai ukur ke-i dengan nilai ukur rerata (\bar{x}) disebut deviasi (δ), dimana :

$$\delta x_i = x_i - \bar{x}$$

Deviasi berbeda dengan deviasi standar (Δx) yang didefinisikan sebagai akar rerata kuadrat deviasinya.

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\delta x_i)^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}{(n-1)}}$$

Sedangkan deviasi standar relatif ditulis :

$$\Delta x_r = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% \text{ atau } \Delta x_r = \frac{\Delta x}{\bar{x}}$$

Nilai pengukuran seringkali dinyatakan dengan ketelitian atau kecermatan, yaitu :

$$100\% - \Delta x_r \% \text{ atau } 1 - \Delta x_r$$

b. Ralat perambatan

Seringkali besaran fisis tidak diukur secara langsung tetapi dihitung dari pengukuran unsur-unsurnya. Karenanya nilai terbaik sangat bergantung pada nilai terbaik variabel unsurnya. Secara matematis bila besaran V memiliki variabel bebas (x, y, z) , sehingga $V = V(x, y, z)$, maka nilai terbaiknya adalah :

$$\bar{V} = V(\bar{x}, \bar{y}, \bar{z})$$

Sedangkan deviasi standar reratanya adalah :

$$\Delta V = \sqrt{\left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial \bar{x}}\right)^2 \Delta x^2 + \left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial \bar{y}}\right)^2 \Delta y^2 + \left(\frac{\partial \bar{V}}{\partial \bar{z}}\right)^2 \Delta z^2}$$

Penyajian hasil pengukuran langsung terhadap peubah x, y, z dinyatakan :

$$x = \bar{x} \pm \Delta x \quad y = \bar{y} \pm \Delta y \quad z = \bar{z} \pm \Delta z$$

2. Interpretasi data

Interpretasi data merupakan suatu tahapan yang dilakukan dengan tujuan mengaitkan hubungan antara berbagai variabel penelitian dengan hipotesis penelitian, antara diterima atau ditolak (K Abror, 2013). Sehingga dalam hal ini mampu menjelaskan terkait dengan fenomena penelitian secara mendalam berdasarkan data dan informasi yang tersedia. Sehingga dapat disimpulkan bahwa interpretasi data merupakan kegiatan penggabungan terhadap hasil dari analisis dengan berbagai macam pertanyaan dan kriteria pada sebuah standar tertentu

untuk menciptakan sebuah arti atau makna dari berbagai data yang telah dikumpulkan oleh peneliti untuk mencari jawaban terhadap berbagai permasalahan yang ada di penelitian. Pada penelitian ini interpretasi data akan ditampilkan dalam bentuk grafik yang selanjutnya akan dilakukan analisis.

BAB IV
HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Pada pelaksanaan penelitian ini dilakukan dengan pengulangan praktikum sebanyak 10 kali dan menggunakan panjang tali 0.465 m. Dengan data hasil sebagai berikut :

1. Hasil analisis praktikum ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor*.

a. Data hasil praktikum ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor*.

Tabel 4.1 Data hasil ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor*.

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)
1.	105	10	13.6	1.36
2.	105	10	13.6	1.36
3.	105	10	13.6	1.36
4.	105	10	13.6	1.36
5.	105	10	13.7	1.37
6.	105	10	13.7	1.37
7.	105	10	13.7	1.37
8.	105	10	13.6	1.36
9.	105	10	13.7	1.37
10.	105	10	13.7	1.37

- b. Hasil analisis percepatan gravitasi pada ayunan sederhana *IR Obstacle Sensor*.

Tabel 4.2 Hasil analisis data percepatan gravitasi ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor*.

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)	Percepatan gravitasi (m/s^2)
1.	105	10	13.6	1.36	9.9150
2.	105	10	13.6	1.36	9.9150
3.	105	10	13.6	1.36	9.9150
4.	105	10	13.6	1.36	9.9150
5.	105	10	13.7	1.37	9.7708
6.	105	10	13.7	1.37	9.7708
7.	105	10	13.7	1.37	9.7708
8.	105	10	13.6	1.36	9.9150
9.	105	10	13.7	1.37	9.7708
10.	105	10	13.7	1.37	9.7708

2. Hasil analisis praktikum ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis*.

- a. Data hasil praktikum ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis*.

Tabel 4.3 Data hasil ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis*.

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)
-----	------------------	----------------------	-----------	-------------

1.	105	10	13.781	1.3781
2.	105	10	13.781	1.3781
3.	105	10	13.782	1.3782
4.	105	10	13.782	1.3782
5.	105	10	13.748	1.3748
6.	105	10	13.781	1.3781
7.	105	10	13.815	1.3815
8.	105	10	13.782	1.3782
9.	105	10	13.815	1.3815
10.	105	10	13.815	1.3815

b. Hasil analisis percepatan gravitasi pada ayunan sederhana *Video Tracker Analysis*.

Tabel 4.4 Hasil analisis data percepatan gravitasi ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis*.

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)	Percepatan gravitasi (m/s^2)
1.	105	10	13.781	1.3781	9.6565
2.	105	10	13.781	1.3781	9.6565
3.	105	10	13.782	1.3782	9.6550
4.	105	10	13.782	1.3782	9.6550
5.	105	10	13.748	1.3748	9.7030

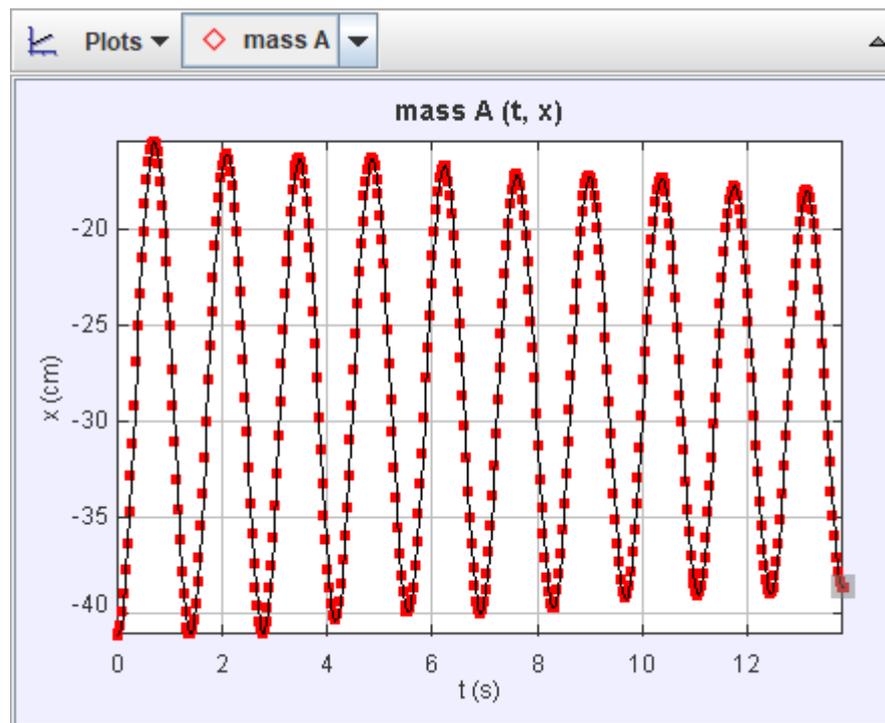
6.	105	10	13.781	1.3781	9.6565
7.	105	10	13.815	1.3815	9.6090
8.	105	10	13.782	1.3782	9.6550
9.	105	10	13.815	1.3815	9.6090
10.	105	10	13.815	1.3815	9.6090

B. Pembahasan

Pada pelaksanaan percobaan praktikum ayunan sederhana ini diulang sebanyak 10 kali untuk analisis menggunakan *IR Obstacle Sensor* maupun *Video Tracker Analysis*. Pada analisis ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* besaran yang terukur hanyalah waktu, sedangkan pada analisis ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis* dapat mengukur besaran waktu, dan grafik sinusoidal gerak harmonis sederhana. Pada perekaman video praktikum ayunan sederhana ini menggunakan *smartphone* Sony Xperia Z5 dengan resolusi kamera 23 MP.

Berdasarkan data hasil yang didapatkan pada percobaan menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan percobaan menggunakan *Video Tracker Analysis* menunjukkan perbedaan nilai waktu (t) yang didapat, dimana pada percobaan ayunan menggunakan *IR Obstacle Sensor* mendapatkan nilai rata-rata waktu (t) 13.65 s, nilai rata-rata periode (T) 1.365, dengan nilai simpangan baku waktu (t) 0.051, dan nilai simpangan baku periode (T) 0.051, sedangkan pada percobaan ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis* mendapatkan nilai rata-rata waktu (t) 13.7882 s, nilai rata-rata periode (T) 1.37882, dengan nilai simpangan baku waktu (t) 0.0000044, dan nilai simpangan baku periode (T) 0.0000044.

Hasil interpretasi data percobaan praktikum ayunan sederhana menggunakan *software Video Tracker Analysis* dapat dilihat pada gambar 4.1



Gambar 4.1 Interpretasi data *Video Tracker Analysis*

Dalam grafik diatas pada ayunan sederhana membentuk grafik sinusoidal (grafik sinus atau cosinus). Pada proses praktikum terdapat gaya gesek udara yang menyebabkan amplitudo semakin mengecil dan akhirnya sistem tidak lagi beresilasi.

Pada grafik diatas secara umum, panjang gelombang ditunjukkan pada jarak minimum antara dua titik identik pada gelombang yang berdekatan. Sedangkan periode (T) pada grafik diatas adalah interval waktu yang diperlukan untuk dua titik identik gelombang yang berdekatan.

Hasil penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Muhammad Minan Chusni (2017) tentang penentuan percepatan gravitasi bumi menggunakan ayunan matematis dengan berbagai metode pengukuran, mendapatkan hasil dengan metode pengukuran tunggal sebesar 9.689 m/s^2 , pengukuran berulang sebesar 9.832 m/s^2 , pengukuran berulang dengan rata-rata berbobot sebesar 9.835 m/s^2 , dan pengukuran dengan regresi linear tanpa bobot sebesar 9.71 m/s^2 .

Niati Khusana dan Listiaji Prasetyo (2022) yang membandingkan hasil perhitungan percepatan gravitasi bumi menggunakan *sensor Accelerometer smartphone* dengan hasil perhitungan menggunakan *stopwatch* (metode manual), berdasarkan data hasil analisis *sensor Accelerometer smartphone* diperoleh percepatan gravitasi sebesar 9.704 m/s^2 , dan berdasarkan percobaan menggunakan *stopwatch* diperoleh percepatan gravitasi sebesar 9.428 m/s^2 .

Yolanita Murniaty Elot dkk. (2021) tentang analisis percepatan gravitasi pada ayunan sederhana menggunakan video *Tracking*, menyatakan berdasarkan penggunaan video *Tracking* pada praktikum ayunan sederhana menunjukkan bahwa nilai percepatan gravitasi bumi sebesar 9.735 m/s^2 .

Adanya perbedaan nilai dan selisih hasil percepatan gravitasi bumi pada praktikum ayunan sederhana ini tentu menunjukkan adanya perbedaan keakuratan pada masing-masing alat pengukuran yang digunakan. Hal ini sejalan dengan hasil penelitian yang telah dilakukan, dimana terjadi perbedaan hasil pengukuran menggunakan dua perlakuan praktikum yang berbeda, yaitu pengukuran secara manual, pengukuran dengan menggunakan sensor, dan pengukuran dengan menggunakan video *Tracker*.

Ketidakpastian Mutlak (KM) adalah kesalahan terbesar yang mungkin timbul dalam pengukuran. Ketidakpastian mutlak sangat berkaitan dengan ketetapan pengukuran, pelaporan ketidakpastian pengukuran berbeda antara pengukuran tunggal dengan pengukuran berulang. Pada pengukuran tunggal ketidakpastian diberi lambang Δx , lambang Δx merupakan ketidakpastian mutlak. Semakin kecil ketidakpastian mutlak maka semakin tepat pengukuran tersebut.

Hasil analisis data untuk menentukan percepatan gravitasi bumi, didapatkan nilai rata-rata percepatan gravitasi bumi (Δg) ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* sebesar 9.8429 m/s^2 dan nilai KM sebesar 0.7354, sedangkan nilai rata-rata percepatan gravitasi bumi (Δg) ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis* sebesar 9.64645 m/s^2 dan nilai KM sebesar 0.00000061564

Dari hasil nilai rata-rata Ketidakpastian Mutlak (KM) percepatan gravitasi bumi (Δg) pada ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor* dan *Video*

Tracker Analysis, dimana nilai rata-rata KM percepatan gravitasi bumi (Δg) menggunakan *Video Tracker Analysis* lebih kecil daripada nilai rata-rata KM percepatan gravitasi bumi (Δg) menggunakan *IR Obstacle Sensor*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa kualitas alat ukur *software Video Tracker Analysis* lebih baik dibandingkan dengan menggunakan *IR Obstacle Sensor*. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan *software Video Tracker Analysis* untuk menentukan percepatan gravitasi bumi dapat diandalkan. Pelaksanaan analisis dan prosedur analisis video dengan aplikasi *Tracker* sangat mudah dan dapat digunakan sebagai media pembelajaran fisika di sekolah.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa besarnya nilai rata-rata percepatan gravitasi dengan menggunakan *IR Obstacle Sensor* sebesar 9.8429 m/s^2 , dan nilai Ketidakpastian Mutlak (KM) sebesar 0.7354, sedangkan besarnya nilai rata-rata percepatan gravitasi dengan menggunakan *software Video Tracker Analysis* sebesar 9.64645 m/s^2 , dan nilai Ketidakpastian Mutlak (KM) sebesar 0.00000061564. Berdasarkan hasil tersebut, dapat diketahui bahwa penggunaan *software Video Tracker Analysis* pada eksperimen ayunan sederhana untuk menentukan percepatan gravitasi bumi lebih akurat dibandingkan dengan menggunakan *IR Obstacle Sensor*, karena hasil data data dari eksperimen menggunakan *Tracker* memiliki nilai Ketidakpastian Mutlak (KM) yang lebih rendah dibandingkan dengan menggunakan sensor. Sehingga, penggunaan *software Video Tracker Analysis* ini dapat menjadi solusi untuk membantu eksperimen yang lebih maju dan mengembangkan keterampilan peserta didik.

B. Saran

Saran penelitian kepada peneliti selanjutnya agar menggunakan alat sensor dan media perekaman video yang lebih baik serta menganalisis faktor-faktor kesalahan pada alat praktikum yang akan digunakan secara lebih mendalam. Sehingga pada penelitian selanjutnya dapat diperoleh data hasil lebih teliti yang nantinya bisa dikembangkan sebagai dasar analisis menentukan percepatan gravitasi.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, S. 2013. *Prosedur Penelitian: Suatu Pendekatan Praktik*. Jakarta: Rineka Cipta.
- Bevington, P. & Robinson, D. K. 2003. *Data Reduction And Error Analysis For The Physical Sciences*. New York: McGraw-Hill.
- Chusni, M.N. 2017. *Penentuan Besar Percepatan Gravitasi Bumi Menggunakan Ayunan Matematis dengan Berbagai Metode Pengukuran*. Bandung: UIN Sunan Gunung Djati.
- Darmadi, Hamid. 2011. *Metode Penelitian Pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Elot, Y.M., Angol, Y., Alus, G., Astro, R.B., & Nasar, A. 2021 Analisis Percepatan Gravitasi Berbasis Video Tracking Pada Ayunan Bandul. *Jurnal Kumparan Fisika*, 5(2), 69-76.
- Giancoli, D. C. 2001. *FISIKA, Jilid 1, Edisi Kelima*. Terjemahan oleh Dra. Yuhilza Hanum, M.Eng. Jakarta: Erlangga.
- Halliday, D. dan Resnick, R. 2010. *FISIKA, Jilid 1, Edisi ketujuh*. Terjemahan oleh Tim Pengajar Fisika ITB. Jakarta: Erlangga.
- Ishaq, M. 2007. *Fisika Dasar Edisi 2*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Nasar, A. 2017. Keefektifan Pembelajaran Sains Melalui Eksperimen Laboratorium dalam Meningkatkan Pemahaman dan Penerapan Konsep Serta Kinerja Ilmiah Peserta Didik. *Jurnal Dinamika Sains*, 1(1), 1-7.
- Niati K., & Listiaji P. 2022. Penentuan Percepatan Gravitasi Bumi Melalui Eksperimen Ayunan Matematis Berbantuan Sensor *Accelerometer* pada *Smartphone*. *Proceeding Seminar Nasional IPA XII*, 1-7
- Oliver, Dick. 1997. *Memandang Realita dengan Fractal Vision*. Yogyakarta: Andi Offset.
- Prasetio, L., Hien, T. K., & Setiawan, S. 1992. *Mengerti Fisika*. Yogyakarta: Andi Offset.

Setyaningrum, R., Sriyono, S., & Ashari, A. 2013. Efektifitas Pelaksanaan Praktikum Fisika Siswa SMA Negeri Kabupaten Purworejo. *Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 3(1), 83-86.

Silaen, S. 2018. Metodologi Penelitian Sosial untuk Penulisan Skripsi dan Tesis. Jakarta: In Media.

Suciarahmat, A., & Pramudya, Y. 2015. Aplikasi Sensor Smartphone dalam Eksperimen Penentuan Percepatan Gravitasi. *Jurnal Fisika Indonesia*, 19(55), 10-13.

Sugiyono. 2016. Metode Penelitian Kuantitatif kualitatif. Bandung: CV. Alfabet.

Syahrul, Adler, J., & Andriana. 2013. Pengukuran Percepatan Gravitasi Menggunakan Gerak Harmonik Sederhana Metode Bandul. *Jurnal Sistem Komputer UNIKOM*, 2(2), 5-9.

Tipler, P.A. 1998. Fisika untuk Sains dan Teknik. Jakarta: Erlangga.

Wee, L.K., & Lee, T.L. 2011. Video Analysis and Modeling Tool for Physics Education : A workshop for Redesigning Pedagogy, *Workshop at the 4th Redesigning Pedagogy International Conference*, 45-50.

LAMPIRAN

Data hasil praktikum ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor*

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)
1.	105	10	13.6
2.	105	10	13.6
3.	105	10	13.6
4.	105	10	13.6
5.	105	10	13.7
6.	105	10	13.7
7.	105	10	13.7
8.	105	10	13.6
9.	105	10	13.7
10.	105	10	13.7

Data hasil periode (T) menggunakan *IR Obstacle Sensor*

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)
1.	105	10	13.6	1.36
2.	105	10	13.6	1.36
3.	105	10	13.6	1.36
4.	105	10	13.6	1.36
5.	105	10	13.7	1.37

6.	105	10	13.7	1.37
7.	105	10	13.7	1.37
8.	105	10	13.6	1.36
9.	105	10	13.7	1.37
10.	105	10	13.7	1.37

Analisis data hasil rata-rata periode (T) dan simpangan baku periode (ΔT) menggunakan *IR Obstacle Sensor*

No.	Nilai periode (T_i) s	Deviasi (δT_i) s	Kuadrat deviasi (δT_i) s
1.	1.36	-0.05	0.0025
2.	1.36	-0.05	0.0025
3.	1.36	-0.05	0.0025
4.	1.36	-0.05	0.0025
5.	1.37	+0.05	0.0025
6.	1.37	+0.05	0.0025
7.	1.37	+0.05	0.0025
8.	1.36	-0.05	0.0025
9.	1.37	+0.05	0.0025
10.	1.37	+0.05	0.0025
$n = 10$	$\sum_i^n T_i = 13.65$		$\sum_i^n (\delta T_i)^2 = 0.025$

Dari tabel diatas diperoleh informasi bahwa :

$$\bar{T} = \frac{\sum_i^n T_i}{n} = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_4}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_i^n T_i}{n} = 1.365 \text{ s} \quad \text{dan} \quad \Delta T = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\delta T_i)^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.025}{9}} = 0.051 \text{ s}$$

Sehingga nilai ukur besaran T :

$$T = \bar{T} \pm \Delta T = (1.365 \pm 0.051) \text{ s}$$

Dan ketelitiannya :

$$100\% - \Delta T_r \% = 100\% - \frac{0.051}{1.365} \times 100\% = 94.9\%$$

Analisis data menentukan percepatan gravitasi (g) menggunakan *IR Obstacle Sensor*

1. Pengukuran 1

Diketahui :

$$T = 1.36 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.36)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = (21.3226) 0.465$$

$$g = 9.9150 \text{ m/s}^2$$

2. Pengukuran 2

Diketahui :

$$T = 1.36 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.36)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = (21.3226) 0.465$$

$$g = 9.9150 \text{ m/s}^2$$

3. Pengukuran 3

Diketahui :

$$T = 1.36 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.36)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = (21.3226) 0.465$$

$$g = 9.9150 \text{ m/s}^2$$

4. Pengukuran 4

Diketahui :

$$T = 1.36 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.36)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = (21.3226) 0.465$$

$$g = 9.9150 \text{ m/s}^2$$

5. Pengukuran 5

Diketahui :

$$T = 1.37 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.37)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = (21.0125) 0.465$$

$$g = 9.7708 \text{ m/s}^2$$

6. Pengukuran 6

Diketahui :

$$T = 1.37 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.37)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = (21.0125) 0.465$$

$$g = 9.7708 \text{ m/s}^2$$

7. Pengukuran 7

Diketahui :

$$T = 1.37 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.37)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = (21.0125) 0.465$$

$$g = 9.7708 \text{ m/s}^2$$

8. Pengukuran 8

Diketahui :

$$T = 1.36 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.36)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8496} \right) 0.465$$

$$g = (21.3226) 0.465$$

$$g = 9.9150 \text{ m/s}^2$$

9. Pengukuran 9

Diketahui :

$$T = 1.37 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.37)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = (21.0125) 0.465$$

$$g = 9.7708 \text{ m/s}^2$$

10. Pengukuran 10

Diketahui :

$$T = 1.37 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot (3.14)^2}{(1.37)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8769} \right) 0.465$$

$$g = (21.0125) 0.465$$

$$g = 9.7708 \text{ m/s}^2$$

Analisis data nilai percepatan gravitasi (g) pada ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor*

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)	Percepatan gravitasi (m/s^2)
1.	105	10	13.6	1.36	9.9150
2.	105	10	13.6	1.36	9.9150
3.	105	10	13.6	1.36	9.9150
4.	105	10	13.6	1.36	9.9150
5.	105	10	13.7	1.37	9.7708
6.	105	10	13.7	1.37	9.7708
7.	105	10	13.7	1.37	9.7708
8.	105	10	13.6	1.36	9.9150

9.	105	10	13.7	1.37	9.7708
10.	105	10	13.7	1.37	9.7708
					$\sum_i^n g = 98.429$

Ketidakpastian Mutlak (KM) nilai percepatan gravitasi (g) pada ayunan sederhana menggunakan *IR Obstacle Sensor*

Diketahui :

$$L = 0.465 \text{ m}$$

$$\bar{T} = 1.365 \text{ s}$$

$$\Delta L = 0$$

$$\Delta T = 0.051 \text{ s}$$

Ditanya Δg ?

Jawab

$$\Delta g^2 = \left(\frac{\partial g}{\partial L}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial \bar{T}}\right)^2 \Delta T^2$$

$$\Delta g^2 = \left(\frac{4\pi^2 L T^{-2}}{\partial L}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{4\pi^2 L T^{-2}}{\partial \bar{T}}\right)^2 \Delta T^2$$

$$\Delta g^2 = \left(\frac{4\pi^2}{\bar{T}^2}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{8\pi^2 \bar{L}}{\bar{T}^3}\right)^2 \Delta T^2$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{8\pi^2 L}{\bar{T}^3}\right)^2} \Delta T^2$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{8(3.14)^2 0.465}{(1.365)^3}\right)^2} (0.051)^2$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 9.8596 \cdot 0.465}{2.5433}\right)^2} 0.002601$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{36.677712}{2.5433}\right)^2 0.002601}$$

$$\Delta g = \sqrt{(14.4213)^2 0.002601}$$

$$\Delta g = \sqrt{207.9738 0.002601}$$

$$\Delta g = \sqrt{0.5409}$$

$$\Delta g = 0.7354 \text{ m/s}^2$$

Dari tabel diatas diperoleh informasi bahwa :

$$\bar{g} = \frac{\sum_i^n g_i}{n} = \frac{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_4}{n}$$

$$\bar{g} = \frac{\sum_i^n g_i}{n} = \frac{98.429}{10} = 9.8429 \text{ m/s}^2$$

Sehingga nilai ukur besaran g :

$$g = \bar{g} \pm \Delta g = (9.8429 \pm 0.7354) \text{ m/s}^2$$

Dan ketelitiannya :

$$100\% - \Delta g\% = 100\% - \frac{0.7354}{9.8429} \times 100\% = 99.92\%$$

Data hasil praktikum ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis*

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)
1.	105	10	13.781
2.	105	10	13.781
3.	105	10	13.782
4.	105	10	13.782
5.	105	10	13.748
6.	105	10	13.781
7.	105	10	13.815
8.	105	10	13.782
9.	105	10	13.815
10.	105	10	13.815

Data hasil periode (T) menggunakan *Video Tracker Analysis*

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)
1.	105	10	13.781	1.3781
2.	105	10	13.781	1.3781
3.	105	10	13.782	1.3782
4.	105	10	13.782	1.3782
5.	105	10	13.748	1.3748

6.	105	10	13.781	1.3781
7.	105	10	13.815	1.3815
8.	105	10	13.782	1.3782
9.	105	10	13.815	1.3815
10.	105	10	13.815	1.3815

Analisis data hasil rata-rata periode (T) dan simpangan baku periode (ΔT) menggunakan *Video Tracker Analysis*

No.	Nilai periode (T_i) s	Deviasi (δT_i) s	Kuadrat deviasi (δT_i) s
1.	1.3781	-0.00072	0.0000005184
2.	1.3781	-0.00072	0.0000005184
3.	1.3782	-0.00062	0.0000003844
4.	1.3782	-0.00062	0.0000003844
5.	1.3748	-0.00402	0.0000161604
6.	1.3781	-0.00072	0.0000005184
7.	1.3815	+0.00268	0.0000071824
8.	1.3782	-0.00062	0.0000003844
9.	1.3815	+0.00268	0.0000071824
10.	1.3815	+0.00268	0.0000071824
$n = 10$	$\sum_i^n T_i = 13.7882$		$\sum_i^n (\delta T_i)^2 = 0.000040416$

Dari tabel diatas diperoleh informasi bahwa :

$$\bar{T} = \frac{\sum_i^n T_i}{n} = \frac{T_1+T_2+T_3+\dots+T_4}{n}$$

$$\bar{T} = \frac{\sum_i^n T_i}{n} = 1.37882 \text{ s dan } \Delta T = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\delta T_i)^2}{(n-1)}} = \sqrt{\frac{0.000040416}{9}} = 0.0000044 \text{ s}$$

Sehingga nilai ukur besaran T :

$$T = \bar{T} \pm \Delta T = (1.37882 \pm 0.0000044) \text{ s}$$

Dan ketelitiannya :

$$100\% - \Delta T_r \% = 100\% - \frac{0.0000044}{1.37882} \times 100\% = 99.99\%$$

Analisis data menentukan percepatan gravitasi (g) menggunakan *Video Tracker Analysis*

1. Pengukuran 1

Diketahui :

$$T = 1.3781 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3781)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8991} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8991} \right) 0.465$$

$$g = 20.7668 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6565 \text{ m/s}^2$$

2. Pengukuran 2

Diketahui :

$$T = 1.3781 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3781)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8991} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8991} \right) 0.465$$

$$g = 20.7668 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6565 \text{ m/s}^2$$

3. Pengukuran 3

Diketahui :

$$T = 1.3782 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3782)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8994} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8994} \right) 0.465$$

$$g = 20.7636 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6550 \text{ m/s}^2$$

4. Pengukuran 4

Diketahui :

$$T = 1.3782 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3782)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8994} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8994} \right) 0.465$$

$$g = 20.7636 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6550 \text{ m/s}^2$$

5. Pengukuran 5

Diketahui :

$$T = 1.3748 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3748)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8900} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8900} \right) 0.465$$

$$g = 20.8668 \cdot 0.465$$

$$g = 9.7030 \text{ m/s}^2$$

6. Pengukuran 6

Diketahui :

$$T = 1.3781 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3781)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8991} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8991} \right) 0.465$$

$$g = 20.7668 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6565 \text{ m/s}^2$$

7. Pengukuran 7

Diketahui :

$$T = 1.3815 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3815)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.9085} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.9085} \right) 0.465$$

$$g = 20.6646 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6090 \text{ m/s}^2$$

8. Pengukuran 8

Diketahui :

$$T = 1.3782 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3782)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.8994} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.8994} \right) 0.465$$

$$g = 20.7636 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6550 \text{ m/s}^2$$

9. Pengukuran 9

Diketahui :

$$T = 1.3815 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3815)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.9085} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.9085} \right) 0.465$$

$$g = 20.6646 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6090 \text{ m/s}^2$$

10. Pengukuran 10

Diketahui :

$$T = 1.3815 \text{ s}$$

$$L = 0.465 \text{ m}$$

Ditanya g ?

Jawab :

$$g = \frac{4\pi^2}{T^2} L$$

$$g = \left(\frac{4 (3.14)^2}{(1.3815)^2} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{4 \cdot 9.8596}{1.9085} \right) 0.465$$

$$g = \left(\frac{39.4384}{1.9085} \right) 0.465$$

$$g = 20.6646 \cdot 0.465$$

$$g = 9.6090 \text{ m/s}^2$$

Analisis data nilai percepatan gravitasi (g) pada ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis*

No.	Massa Beban (gr)	Banyak Ayunan (kali)	Waktu (s)	Periode (s)	Percepatan gravitasi (m/s^2)
1.	105	10	13.781	1.3781	9.6565
2.	105	10	13.781	1.3781	9.6565
3.	105	10	13.782	1.3782	9.6550
4.	105	10	13.782	1.3782	9.6550
5.	105	10	13.748	1.3748	9.7030
6.	105	10	13.781	1.3781	9.6565
7.	105	10	13.815	1.3815	9.6090
8.	105	10	13.782	1.3782	9.6550
9.	105	10	13.815	1.3815	9.6090
10.	105	10	13.815	1.3815	9.6090
					$\sum_t^n g = 96.4645$

Ketidakpastian Mutlak (KM) nilai percepatan gravitasi (g) pada ayunan sederhana menggunakan *Video Tracker Analysis*

Diketahui :

$$L = 0.465 \text{ m}$$

$$\bar{T} = 1.37882 \text{ s}$$

$$\Delta L = 0$$

$$\Delta T = 0.0000044 \text{ s}$$

Ditanya Δg ?

Jawab

$$\Delta g^2 = \left(\frac{\partial g}{\partial L}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{\partial g}{\partial T}\right)^2 \Delta T^2$$

$$\Delta g^2 = \left(\frac{4\pi^2 L T^{-2}}{\partial L}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{4\pi^2 L T^{-2}}{\partial T}\right)^2 \Delta T^2$$

$$\Delta g^2 = \left(\frac{4\pi^2}{T^2}\right)^2 \Delta L^2 + \left(\frac{8\pi^2 L}{T^3}\right)^2 \Delta T^2$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{8\pi^2 L}{T^3}\right)^2 \Delta T^2}$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{8\pi^2 L}{T^3}\right)^2 \Delta T^2}$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{8(3.14)^2 0.465}{(1.37882)^2}\right)^2 (0.0000044)^2}$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{8 \cdot 9.8596 \cdot 0.465}{2.6213}\right)^2 1.936 \times 10^{-11}}$$

$$\Delta g = \sqrt{\left(\frac{36.677712}{2.6213}\right)^2 1.936 \times 10^{-11}}$$

$$\Delta g = \sqrt{(13.9921)^2 1.936 \times 10^{-11}}$$

$$\Delta g = \sqrt{195.7788 1.936 \times 10^{-11}}$$

$$\Delta g = \sqrt{3.7902 \times 10^{-10}}$$

$$\Delta g = 0.00000061564 \text{ m/s}^2$$

Dari tabel diatas diperoleh informasi bahwa :

$$\bar{g} = \frac{\sum_i^n g_i}{n} = \frac{g_1 + g_2 + g_3 + \dots + g_n}{n}$$

$$\bar{g} = \frac{\sum_i^n g_i}{n} = \frac{96.4645}{10} = 9.64645 \text{ m/s}^2$$

Sehingga nilai ukur besaran g :

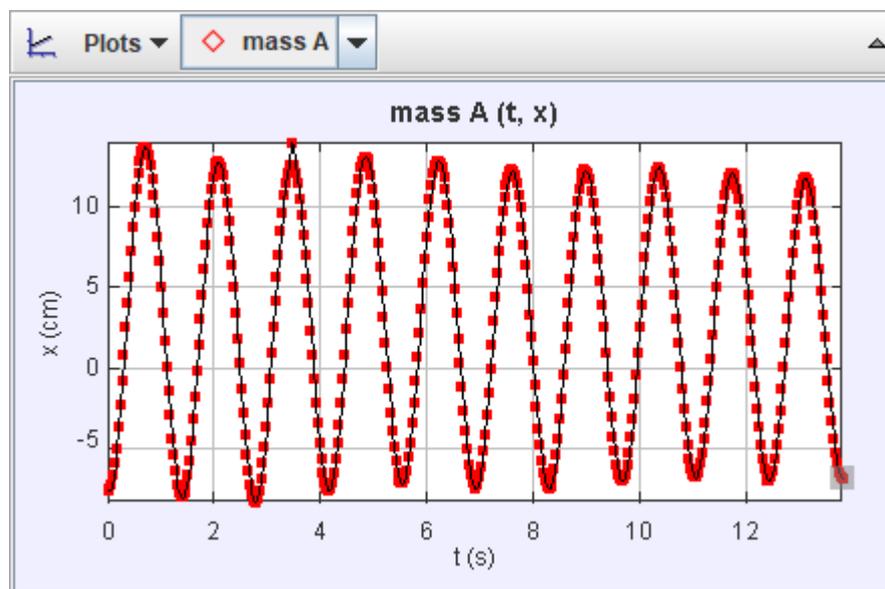
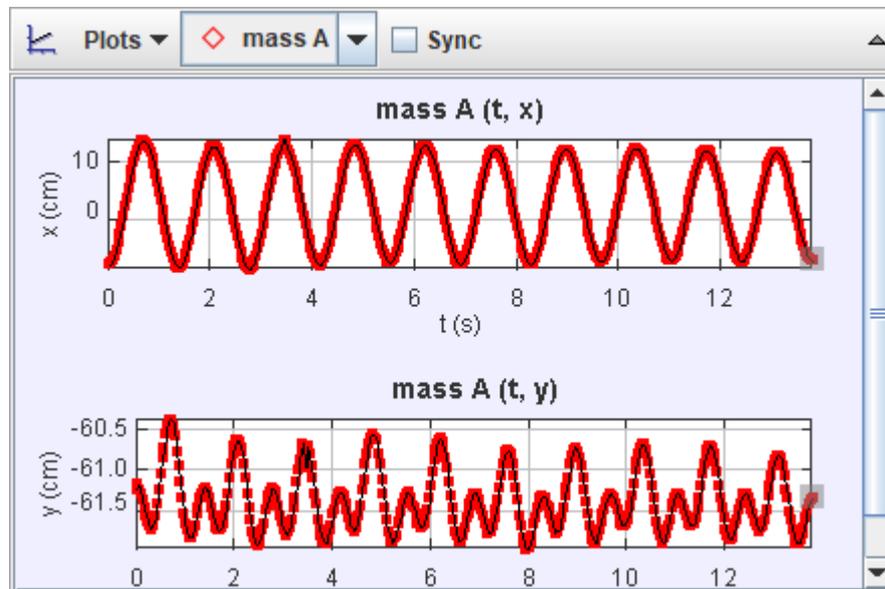
$$g = \bar{g} \pm \Delta g = (9.64645 \pm 0.00000061564) \text{ m/s}^2$$

Dan ketelitiannya :

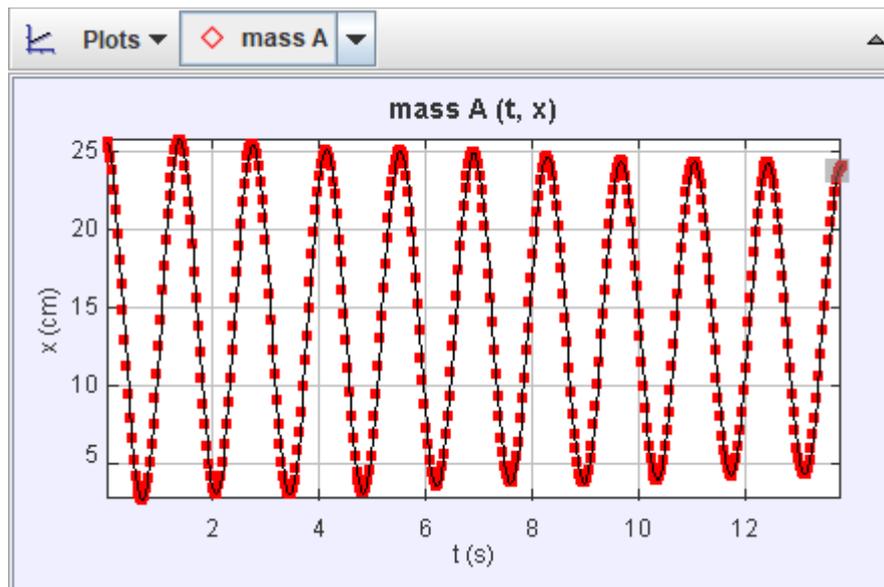
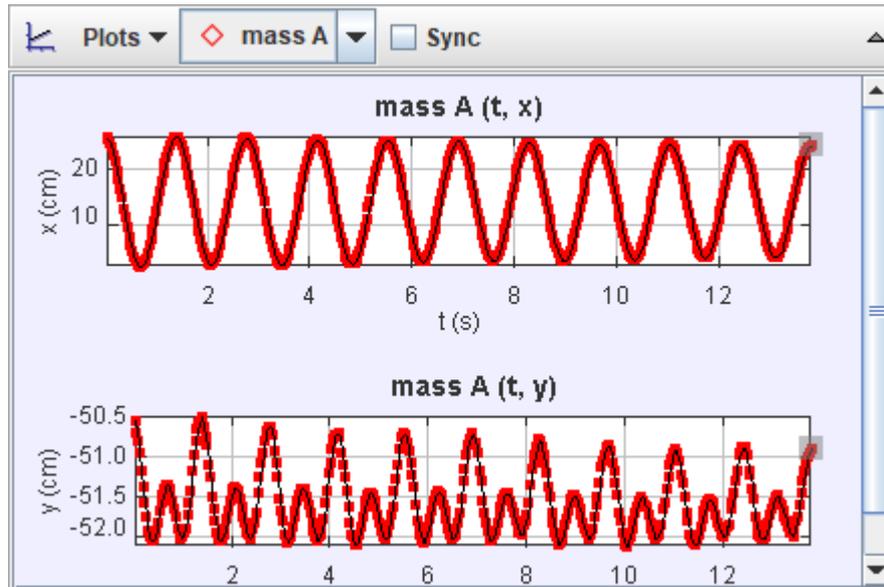
$$100\% - \Delta g\% = 100\% - \frac{0.00000061564}{9.64645} \times 100\% = 99.99\%$$

Grafik yang ditampilkan pada *software Video Tracker Analysis*

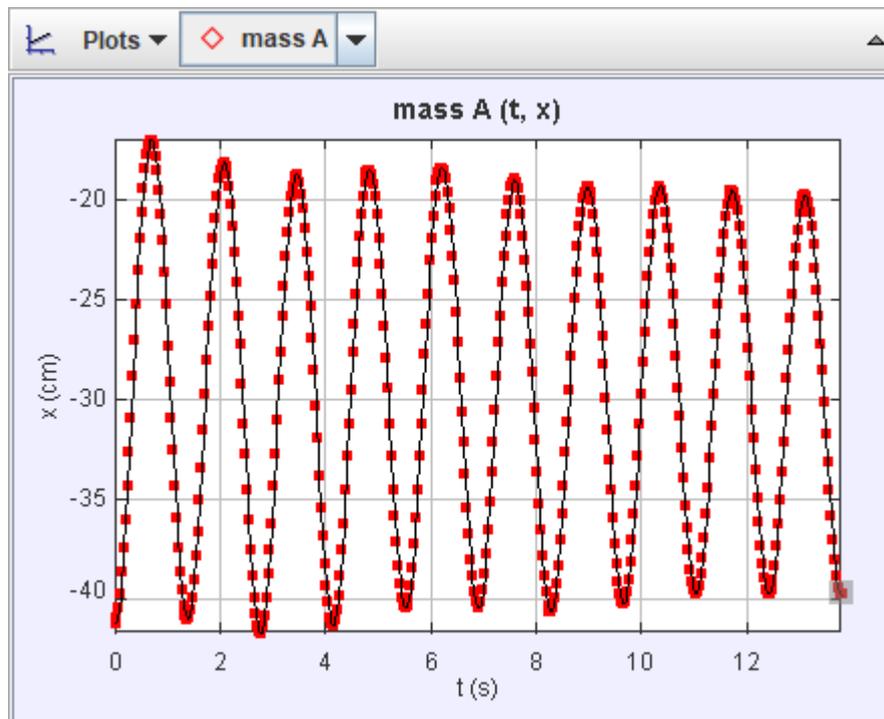
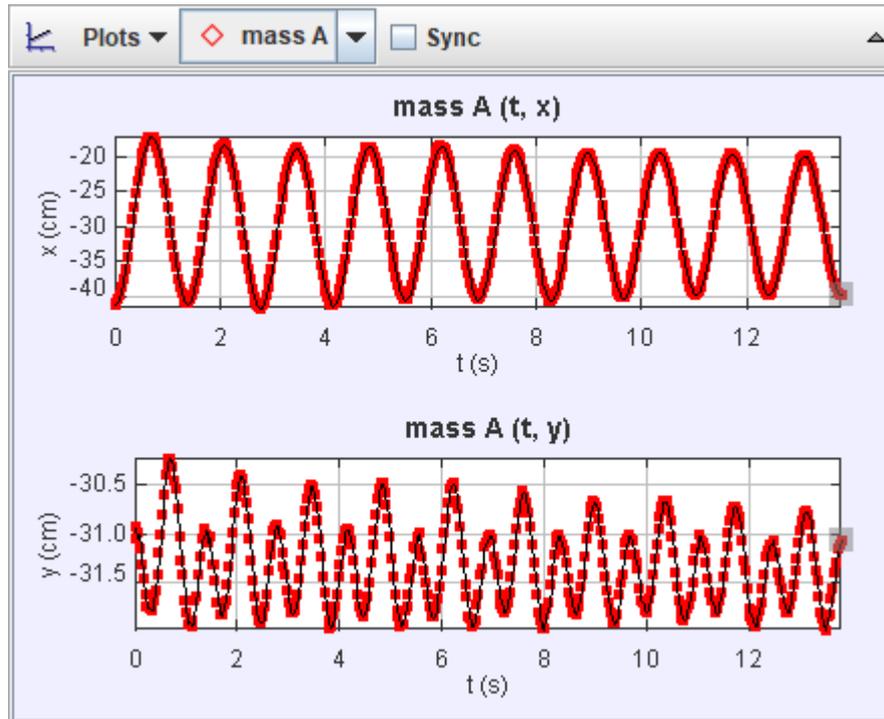
1. Pengukuran ke-1



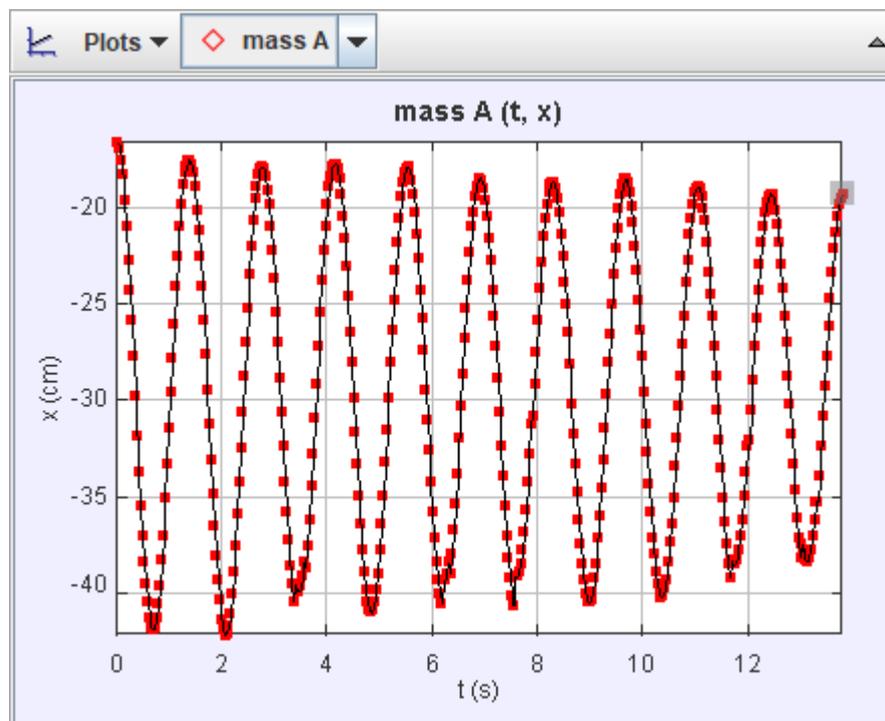
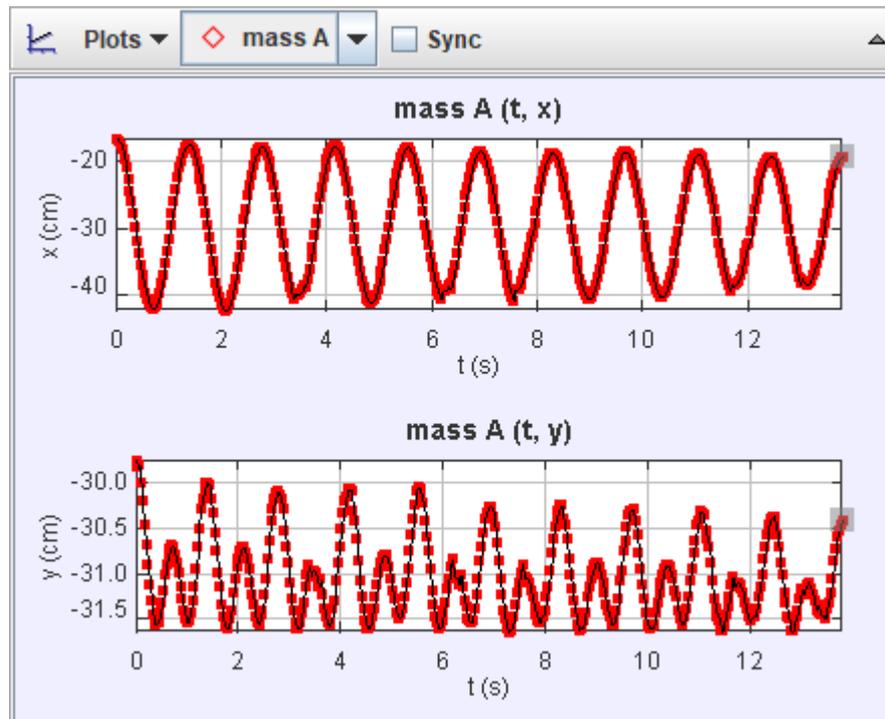
2. Pengukuran ke-2



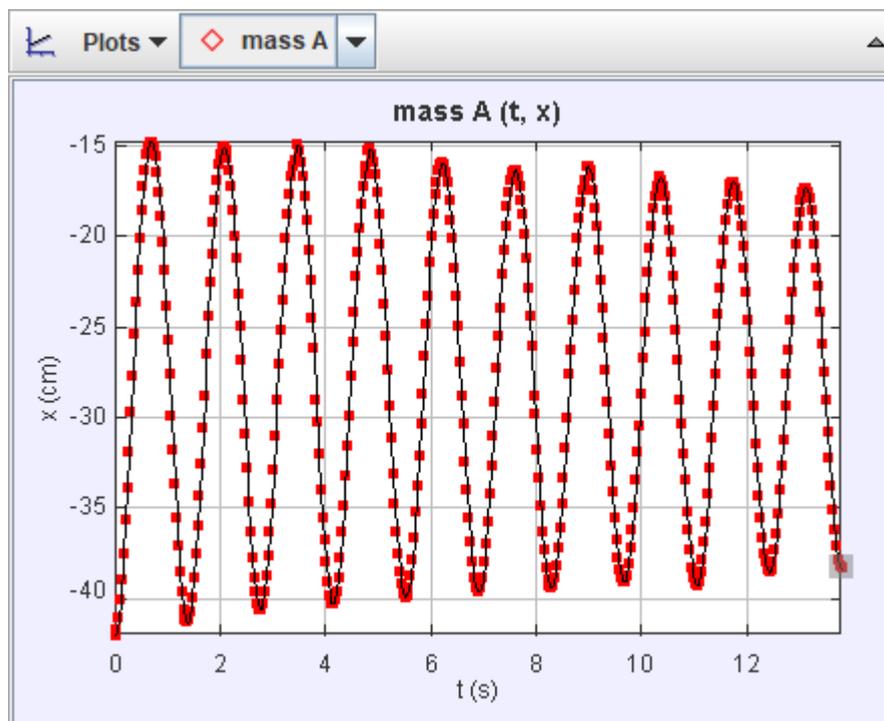
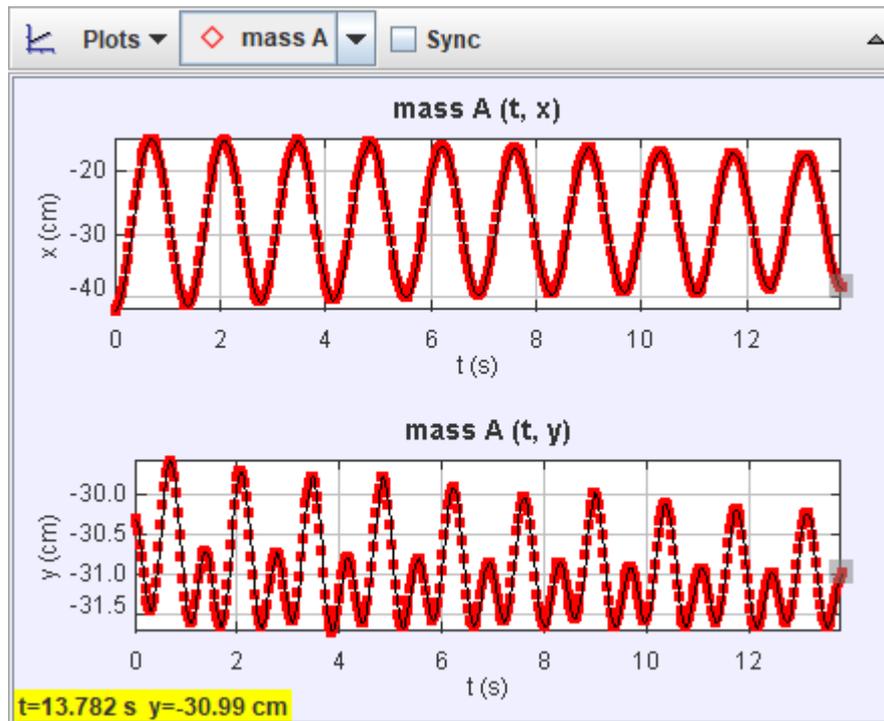
3. Pengukuran ke-3



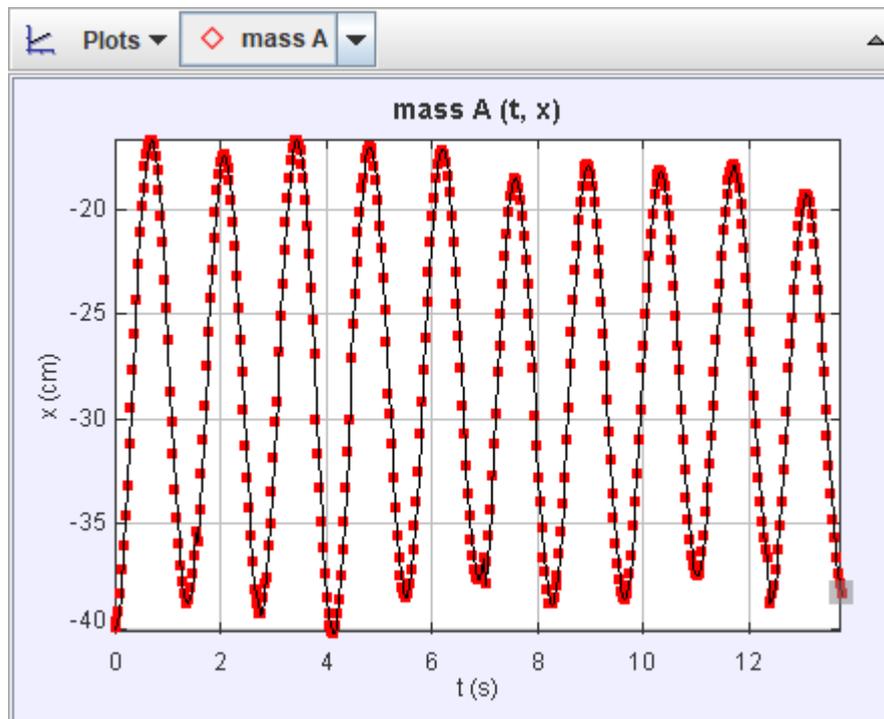
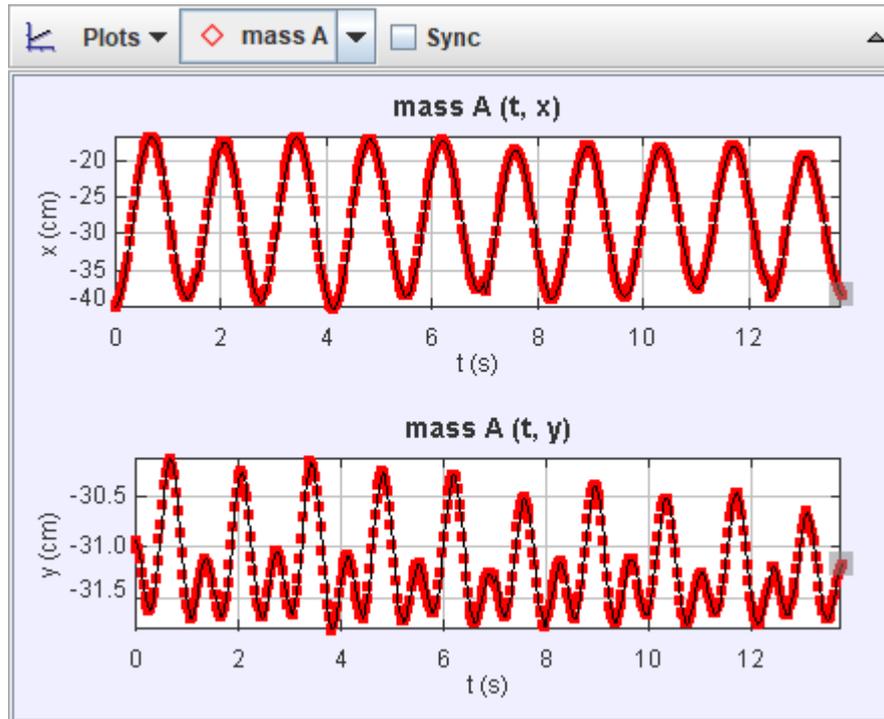
4. Pengukuran ke-4



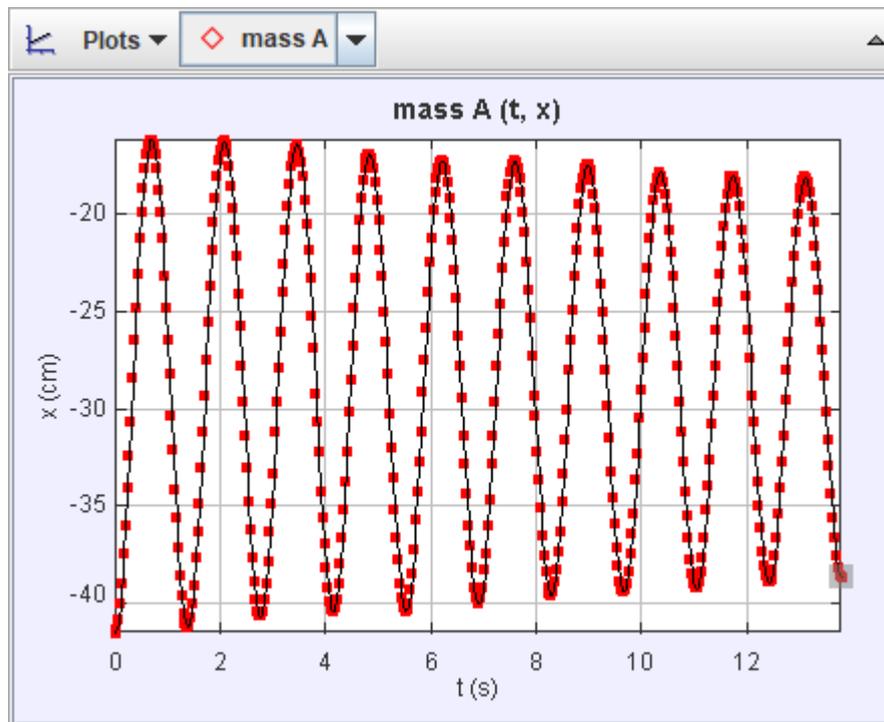
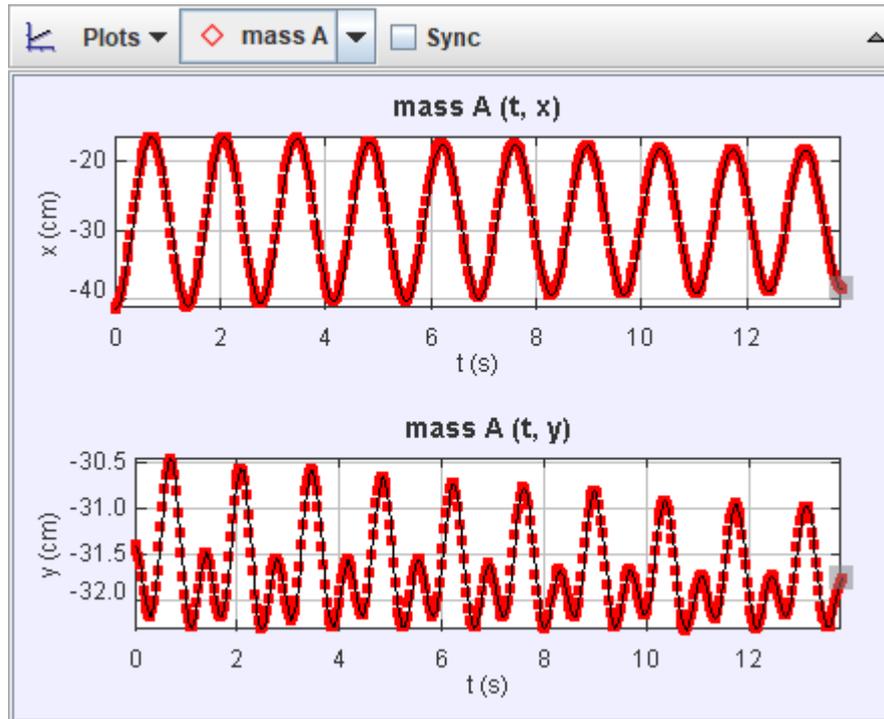
5. Pengukuran ke-5



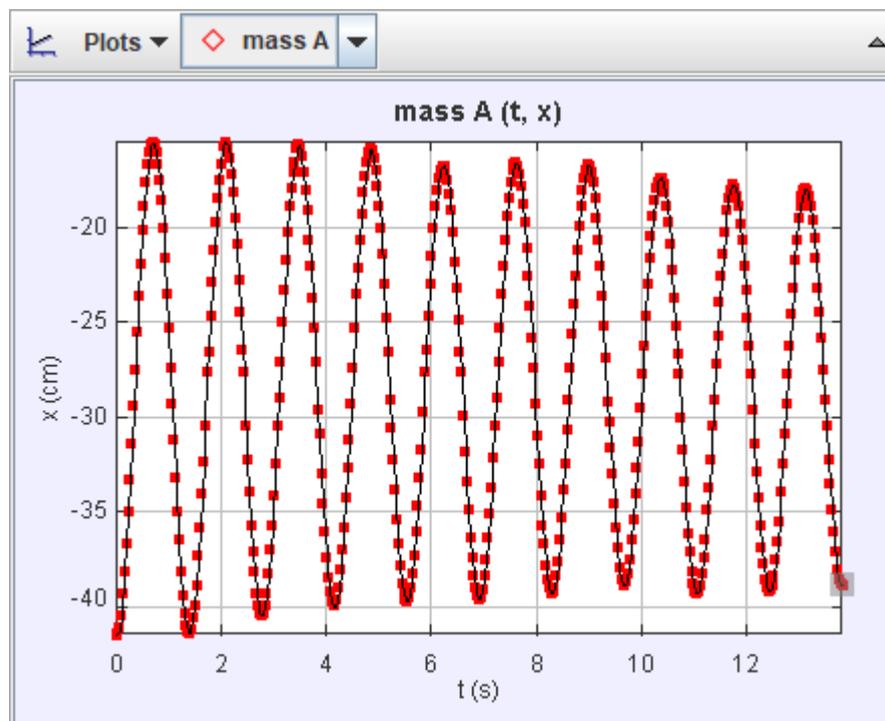
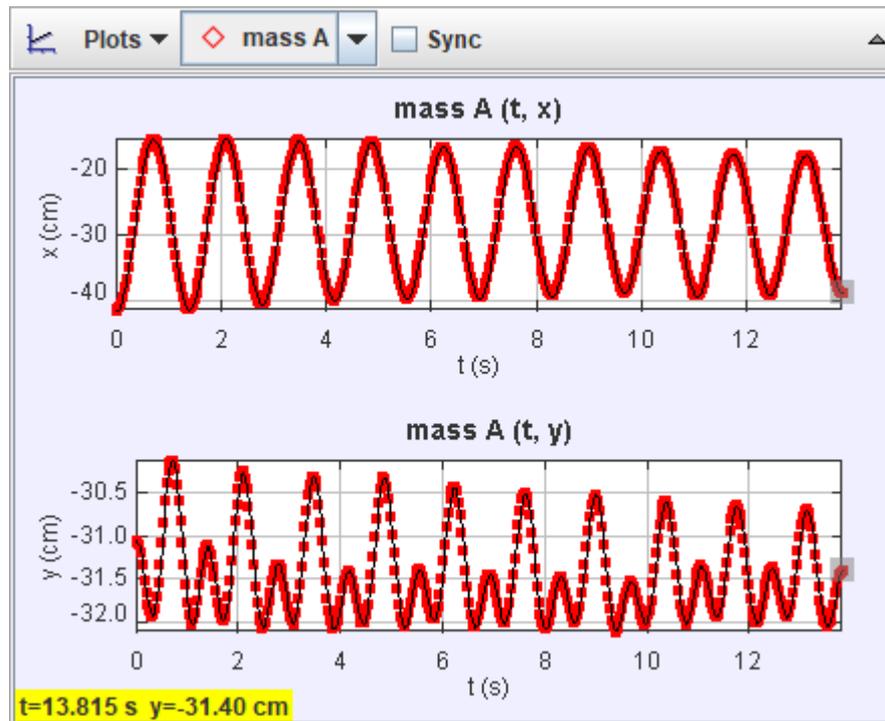
6. Pengukuran ke-6



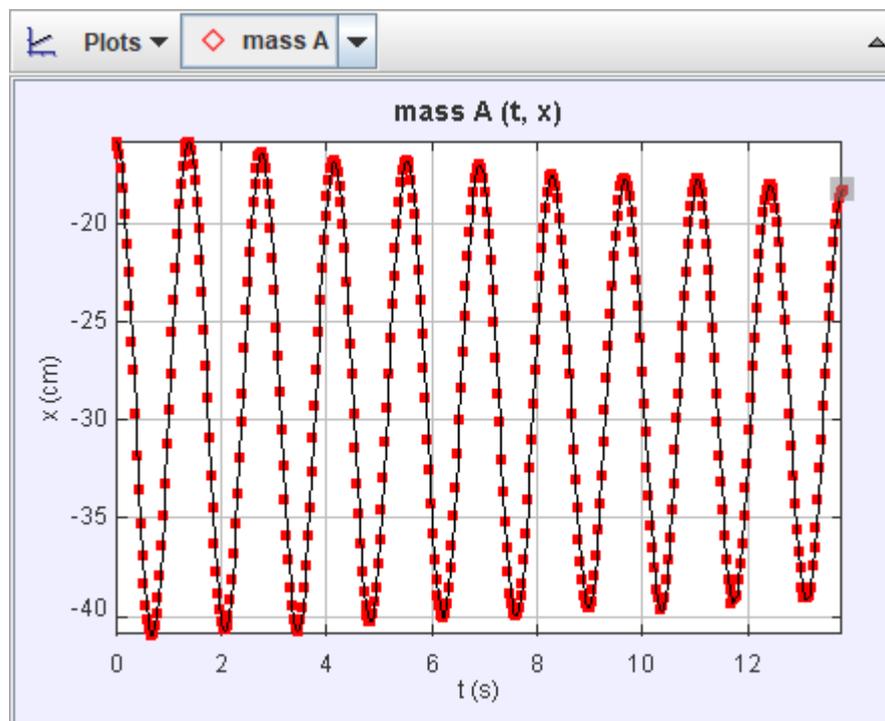
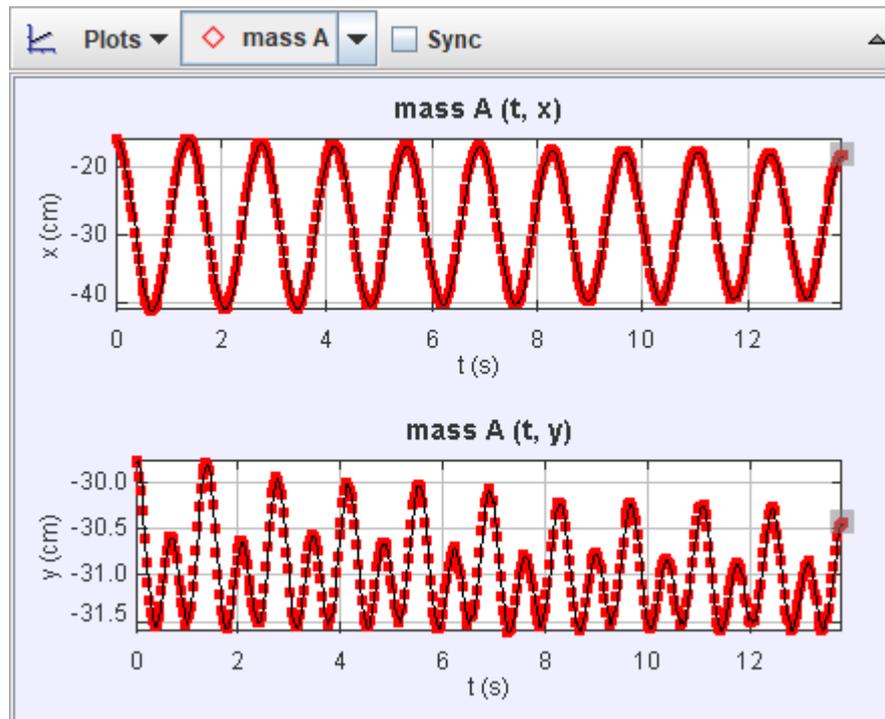
7. Pengukuran ke-7



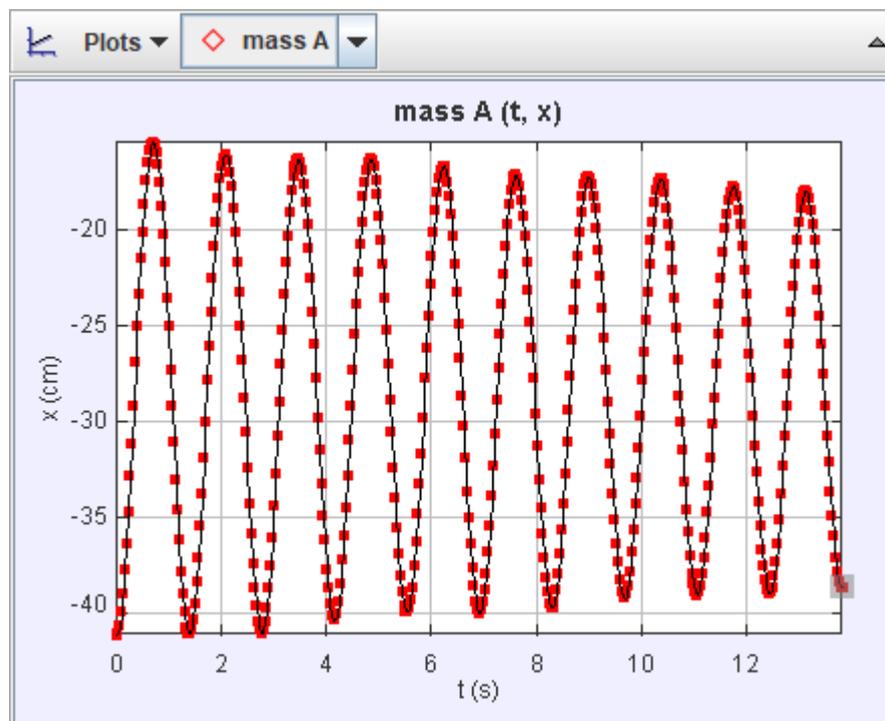
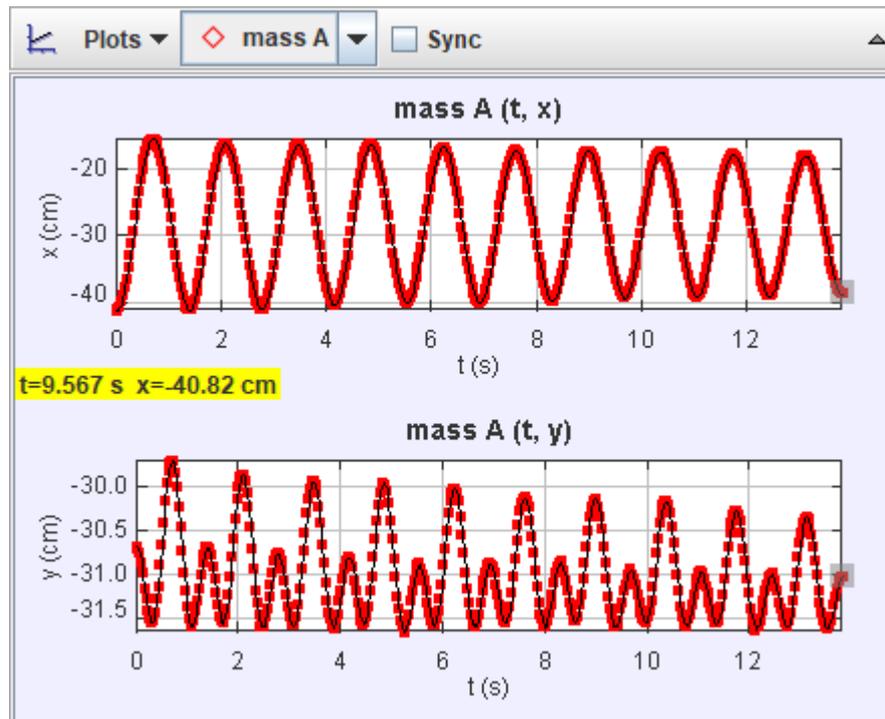
8. Pengukuran ke-8



9. Pengukuran ke-9

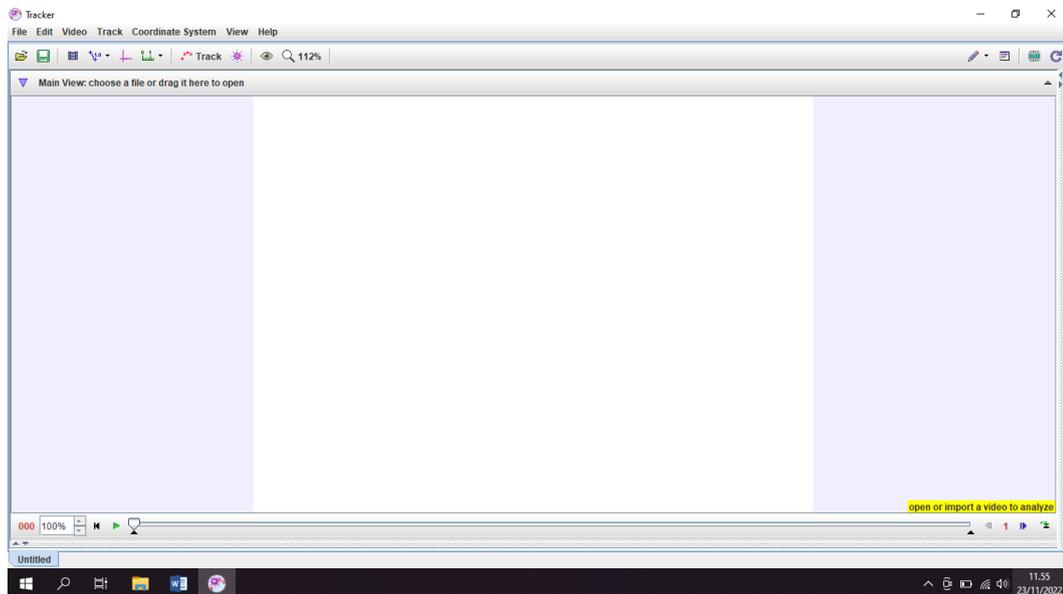


10. Pengukuran ke-10

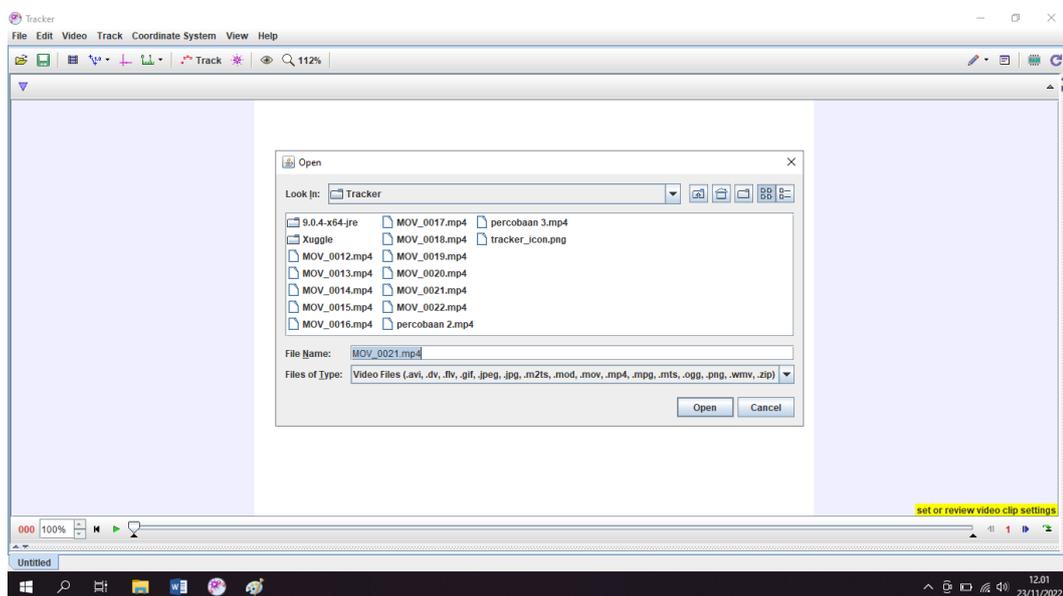


Proses analisis di software *Video Tracker Analysis*

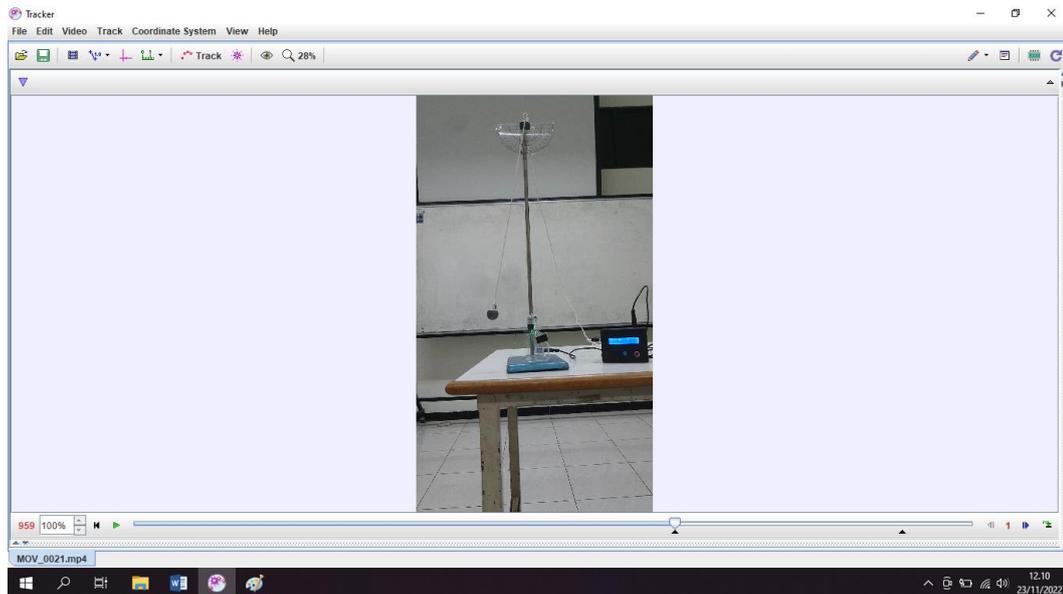
1. Tampilan halaman muka software *Video Tracker Analysis*



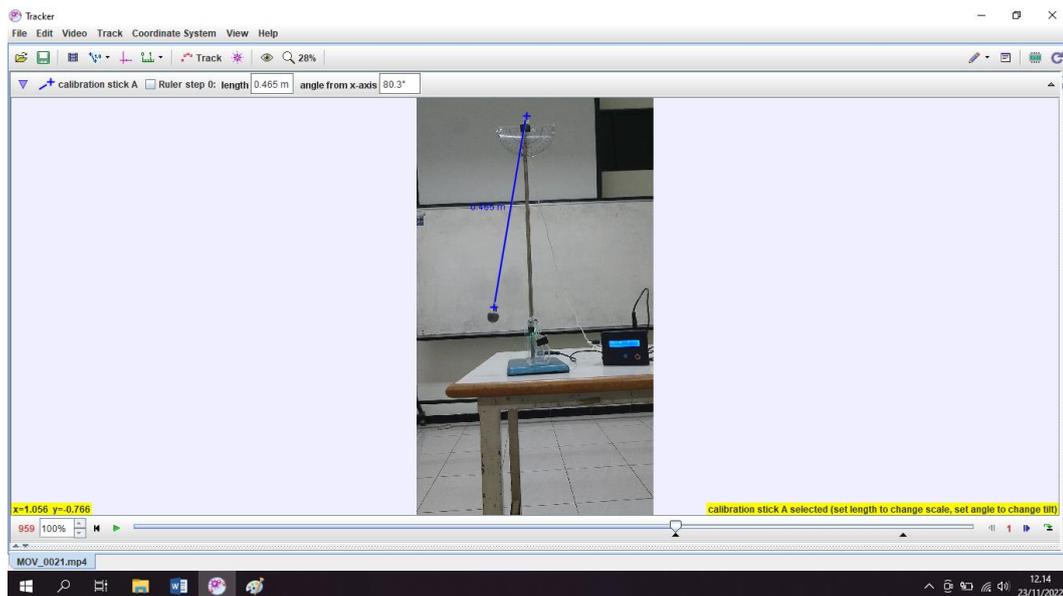
2. Impor video ke software *Video Tracker Analysis*



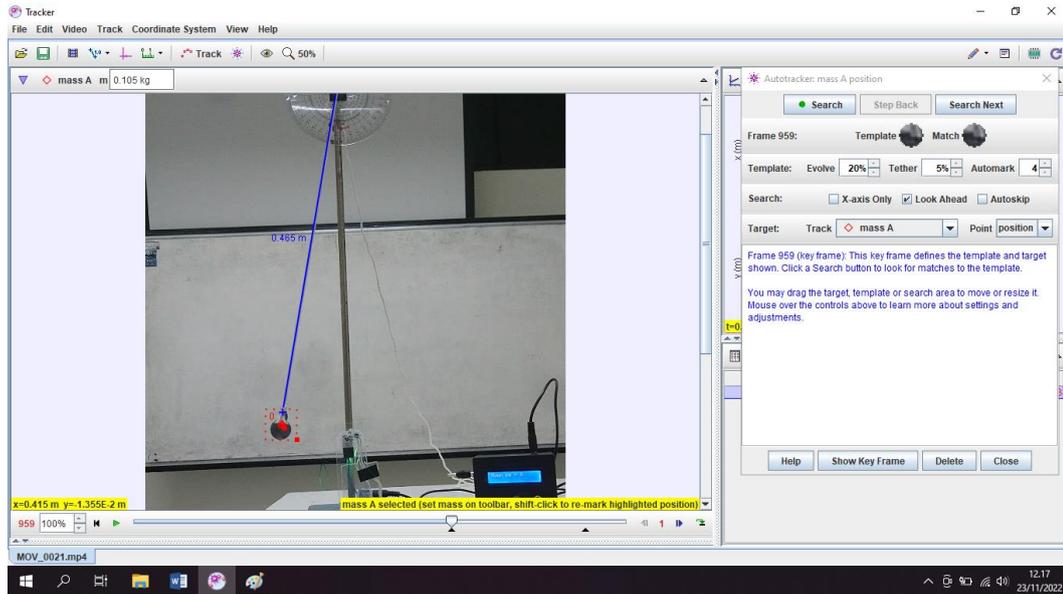
3. Menentukan frame awal dan akhir yang akan dianalisis



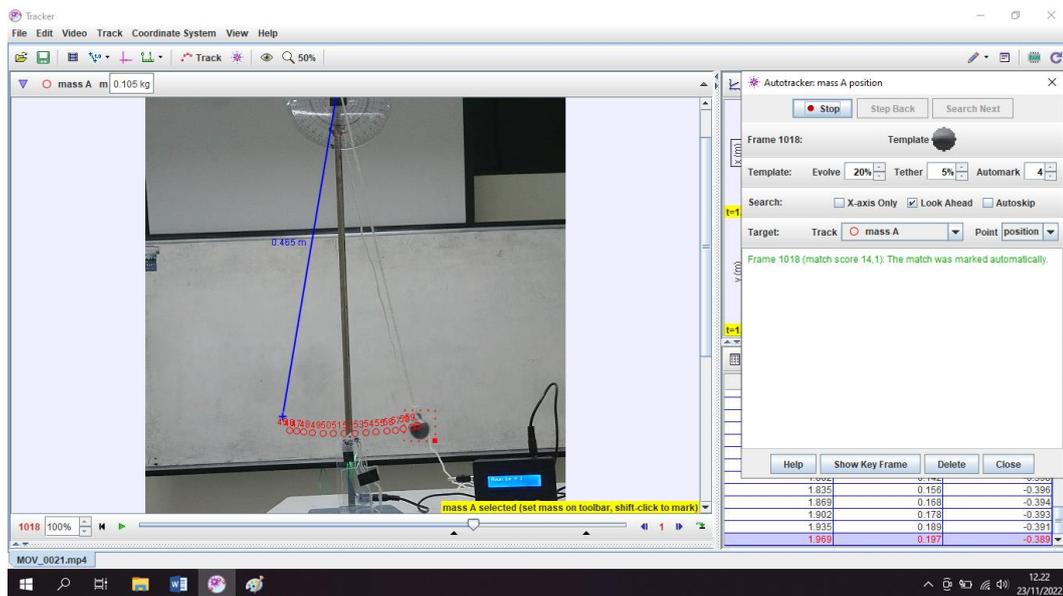
4. Kalibrasi stick



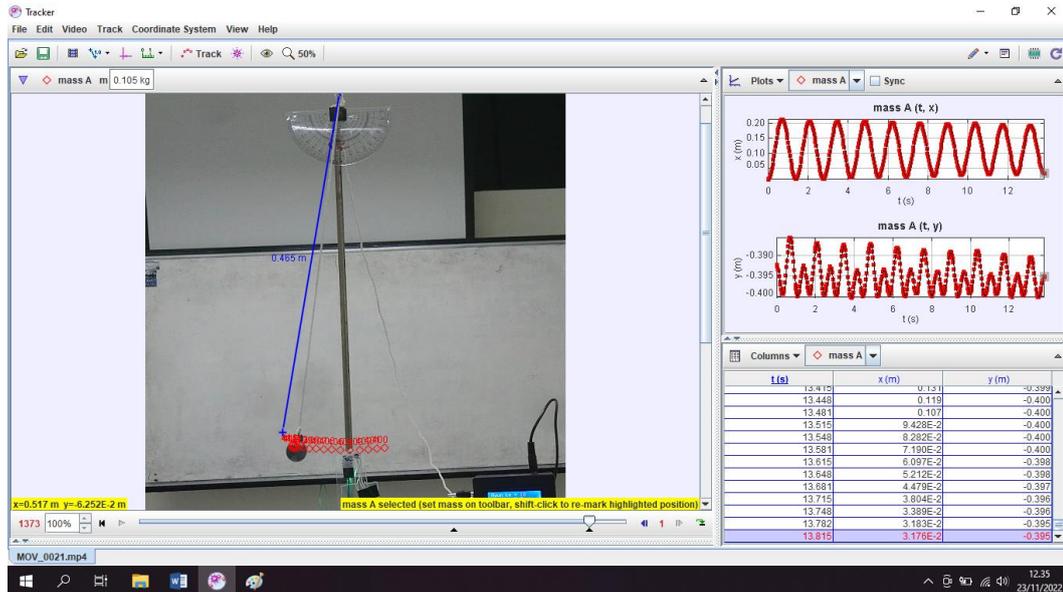
5. Menentukan point Mass



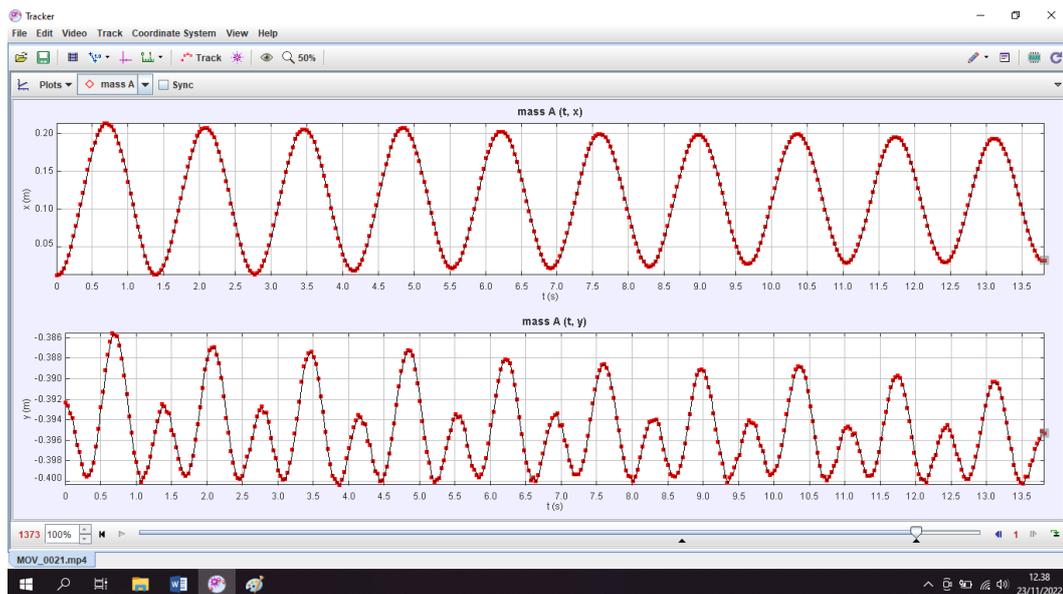
6. Klik search untuk memulai proses tracking



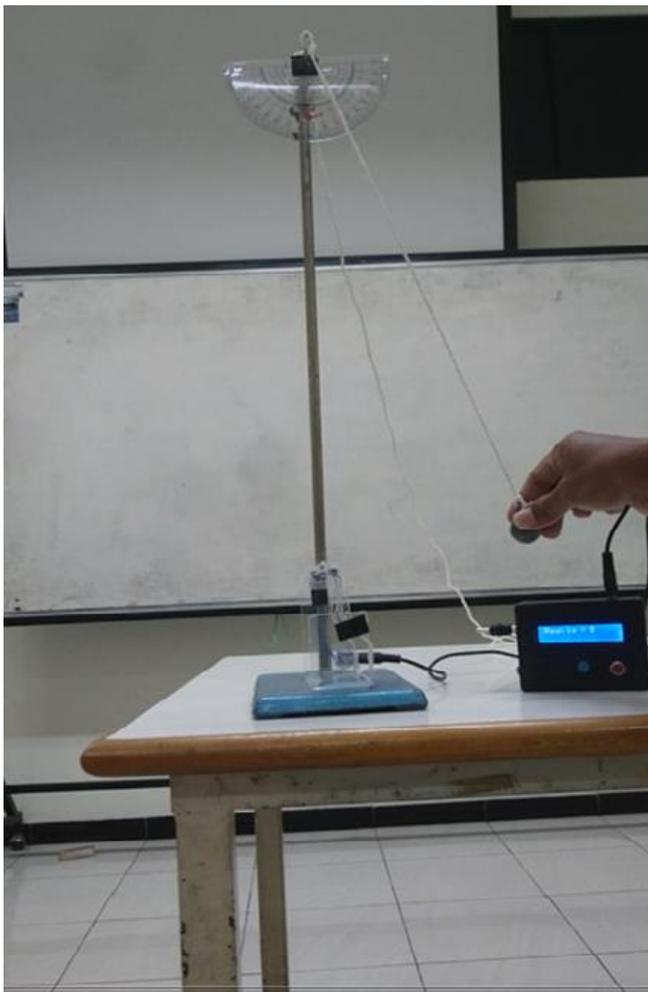
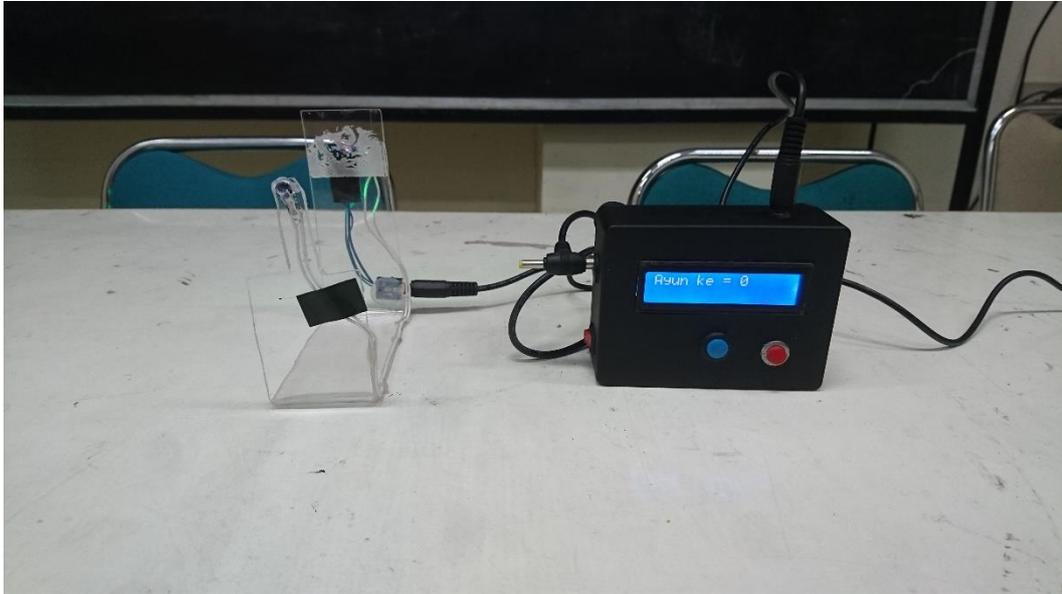
7. Mencatat hasil waktu akhir ayunan



8. Menganalisis grafik



Proses kegiatan praktikum ayunan sederhana





UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
FAKULTAS PENDIDIKAN MIPA DAN TEKNOLOGI INFORMASI
 Kampus : Jl. Dr. Cipto – Sidodadi Timur No. 24 Semarang Indonesia
 Telp. (024) 8316377 Faks. (024)8448217 Email: upgrismg@gmail.com Homepage: www.upgrismg.ac.id

LEMBAR PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Arizal Afdholi
 NPM : 15330034
 Prodi : Pendidikan Fisika
 Judul Skripsi : Analisis Percepatan Gravitasi Menggunakan Gerak Harmonis Sederhana Dengan Ayunan Sederhana Berbasis *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*
 Dosen Pembimbing I : Wawan Kurniawan, S.Si., M.Si.
 Dosen Pembimbing II : Joko Saefan, S.Si., M.Sc.

No.	Hari, Tanggal	Uraian Bimbingan	Paraf
1.	SENIN, 3 OKTOBER 2022	BIMBINGAN TORIK	Arizal Afdholi
2.	SENIN, 10 OKTOBER 2022	BIMBINGAN JUDUL	
3.	SELASA, 11 OKTOBER 2022	ACC JUDUL	
4.	SENIN, 24 OKTOBER 2022	BIMBINGAN BAB I - BAB III	
5.	SELASA, 1 NOVEMBER 2022	ACC BAB I - BAB III	
6.	SELASA, 8 NOVEMBER 2022	BIMBINGAN BAB IV - BAB V	
7.	RABU, 16 NOVEMBER 2022	ACC BAB IV - BAB V	
8.	JUM'AT, 18 NOVEMBER 2022	SIAP UJI	

Dosen Pembimbing I,

Wawan Kurniawan, S.Si., M.Si.

NPP. 088101212

Mahasiswa,

Arizal Afdholi

NPM 15330034



UNIVERSITAS PGRI SEMARANG
FAKULTAS PENDIDIKAN MIPA DAN TEKNOLOGI INFORMASI

Kampus : Jl. Dr. Cipto – Sidodadi Timur No. 24 Semarang Indonesia
 Telp. (024) 8316377 Faks. (024)8448217 Email: upgrismg@gmail.com Homepage: www.upgrismg.ac.id

LEMBAR PEMBIMBINGAN SKRIPSI

Nama Mahasiswa : Arizal Afdholi
 NPM : 15330034
 Prodi : Pendidikan Fisika
 Judul Skripsi : Analisis Percepatan Gravitasi Menggunakan Gerak Harmonis Sederhana Dengan Ayunan Sederhana Berbasis *IR Obstacle Sensor* dan *Video Tracker Analysis*
 Dosen Pembimbing I : Wawan Kurniawan, S.Si., M.Si.
 Dosen Pembimbing II : Joko Saefan, S.Si., M.Sc.

No.	Hari, Tanggal	Uraian Bimbingan	Paraf
1.	SENIN, 19 SEPTEMBER 2022	BIMBINGAN TOPIK	
2.	RABU, 5 OKTOBER 2022	BIMBINGAN JUDUL	
3.	SELASA, 11 OKTOBER 2022	ACC JUDUL	
4.	RABU, 26 OKTOBER 2022	BIMBINGAN BAB I – BAB III	
5.	SELASA, 1 NOVEMBER 2022	ACC BAB I – BAB III	
6.	RABU, 9 NOVEMBER 2022	BIMBINGAN BAB IV – BAB V	
7.	RABU, 16 NOVEMBER 2022	ACC BAB IV – BAB V	
8.	JUM'AT, 18 NOVEMBER 2022	SIAP UJI	

Dosen Pembimbing II,

Joko Saefan, S.Si., M.Sc.

NPP. 088101211

Mahasiswa,

Arizal Afdholi

NPM 15330034