

## PENGEMBANGAN ALAT PERAGA BANDUL MATEMATIS BERBASIS SENSOR PROXIMITY PADA MATERI GETARAN HARMONIS UNTUK SISWA SMA KELAS X

Nailis Sa'adah dan Prabowo

Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Surabaya

Email: [nailis.17030184065@mhs.unesa.ac.id](mailto:nailis.17030184065@mhs.unesa.ac.id)

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan validitas alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi pada materi getaran harmonis dan untuk mendeskripsikan kesesuaian alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi pada materi getaran harmonis terhadap konstanta percepatan gravitasi bumi pada teori. Jenis penelitian yang digunakan adalah penelitian pengembangan dengan menggunakan model 4D namun hanya dibatasi sampai 3D (*Define, Design, Develop*). Validitas alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* dinilai berdasarkan hasil dari validator dan taraf ketelitian hasil percobaan menggunakan alat peraga. Kesesuaian alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* terhadap teori dianalisis menggunakan perhitungan akurasi. Berdasarkan data yang diperoleh, tingkat validitas alat peraga berbasis sensor *proximity* termasuk dalam kategori sangat baik karena hasil validasi dan taraf ketelitian alat peraga memiliki persentase  $\geq 61\%$ . Hasil validasi alat peraga menunjukkan persentase sebesar 94.29% dan data hasil percobaan menggunakan alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* memperoleh taraf ketelitian pada sensor *proximity* pertama sebesar 99.98%, pada sensor *proximity* kedua sebesar 99.97%, dan pada sensor *proximity* ketiga sebesar 99.98%. Sedangkan kesesuaian alat peraga terhadap konstanta gravitasi bumi pada teori diperoleh sebesar 99.53% dan tergolong dalam kategori sangat baik. Nilai percepatan gravitasi bumi yang diperoleh dari hasil praktikum yaitu  $9.72 \text{ m/s}^2$  melalui perhitungan dengan rumus dan  $9.74 \text{ m/s}^2$  melalui perhitungan persamaan regresi yang didapat dari grafik. Alat peraga bandul matematis yang dikembangkan layak dijadikan sebagai media pembelajaran pada materi getaran harmonis.

**Kata kunci:** bandul matematis, sensor *proximity*, getaran harmonis

### Abstract

*This study aims to describe the validity of mathematical pendulum props based on proximity sensor to determines the value of the gravitational acceleration in harmonic vibrational material and to describe the suitability of mathematical pendulum props on proximity sensor to determines the value of the gravitational acceleration in harmonic vibrational material to the gravitational acceleration in theory. This type of research is a research development using the 4D model but only limited until 3D. The validity of the props is assessed based on the results of the validator and the accuracy of the experimental results using the props. The suitability of the props to the theory was analyzed using accuracy calculations. Based on the data obtained, the level of validity of the props is included in the very good category because the results of validation and the level of accuracy of the props have a percentage of  $\geq 61\%$ . The results of the validation of the props showed a percentage of 94.29% and the experimental data using the props obtained an average accuracy level on the first proximity sensor of 99.98%, the second proximity sensor of 99.97%, and the third proximity sensor of 99.98%. While the suitability of the props to the gravitational acceleration in theory is 99.3% and is classified in the very good category. The value of gravitational acceleration obtained from practicum results is  $9.72 \text{ m/s}^2$  through calculations with the formula and  $9.74 \text{ m/s}^2$  through the calculation of the regression equation obtained from the graph. The mathematical pendulum props developed are worthy of being used as learning media on harmonic vibration material.*

**Keywords:** mathematical pendulum, proximity sensor, harmonic vibration

## **PENDAHULUAN**

Fisika merupakan cabang ilmu IPA yang mempelajari tentang fenomena-fenomena alam. Menurut Hardianti, dkk (2015) peserta didik harus mempunyai kemampuan analitis untuk memahami fenomena-fenomena alam. Kemampuan analitis dapat dikembangkan melalui pemahaman konsep-konsep fisis dari pengalaman langsung melalui kegiatan praktikum. Hal ini sesuai dengan yang dikatakan oleh Yanti, dkk (2016) bahwa untuk mempelajari fisika tidak cukup hanya dengan mempelajari buku-bukunya saja, namun harus melakukan praktikum juga, sebab teori yang ada dibuku dibuktikan oleh ilmuwan melalui eksperimen atau praktikum. Selain itu menurut Hofstein dan Naaman (2007) kegiatan praktikum penting dilakukan dalam pembelajaran untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan proses sains peserta didik. Kegiatan pembelajaran yang kurang melakukan praktikum menjadi salah satu penyebab peserta didik kesulitan dalam memahami fisika (Shidqi dan Anggaryani, 2020)

Kegiatan praktikum dibuat dan diatur sedemikian rupa sehingga dapat tercipta kondisi yang dapat mewakili kondisi nyata dari gejala fisika yang akan diamati (Yani dan Asrizal, 2019). Untuk menunjang kegiatan praktikum dibutuhkan suatu alat peraga yang digunakan untuk mendapatkan data. Menurut Maharani, dkk (2017) alat peraga dalam fisika merupakan sarana untuk menggambarkan suatu keadaan pada materi fisika saat proses pembelajaran. Selain itu, alat peraga merupakan segala sesuatu yang dapat memberikan informasi, dapat merangsang pikiran, perasaan, dan kemauan peserta didik guna memotivasi peserta didik untuk belajar (Nomleni dan Manu, 2018).

Salah satu materi fisika yang menggunakan kegiatan praktikum adalah gerak harmonik yang menggunakan bandul matematis. Namun masih terdapat sekolah yang tidak melaksanakan praktikum bandul matematis karena tidak adanya alat yang memadai (Dewi dan Prabowo, 2014). Menurut penelitian yang dilakukan oleh Yustiandi dan Saepuzaman (2017) beberapa siswa SMA di Serang masih kesulitan dalam melakukan praktikum bandul matematis diantaranya yaitu gerakan bandul yang tidak harmonis dan ketidaktepatan waktu ayun bandul karena menggunakan *stopwatch* sehingga hasil percepatan gravitasi bumi yang didapatkan jauh dari konstanta yang ada. Selain itu berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Octaviandari dan Sucahyo (2020) menyatakan 48,28% peserta didik belum pernah melakukan praktikum gerak harmonik sederhana, sedangkan 51,27% peserta didik pernah melakukan praktikum gerak harmonik sederhana namun masih menggunakan alat peraga yang

seederhana yaitu menentukan waktu menggunakan *stopwatch* yang ditekan manual.

Ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin berkembang menghasilkan alat yang lebih praktis dan teliti. Beberapa peneliti telah membuat alat peraga bandul matematis yang berbasis sensor dan mikrokontroler yang dapat menghasilkan data waktu secara otomatis. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Huriawati dan Yusro (2017) yang menggunakan Osilator Digital Detector untuk menghasilkan data waktu yang diperlukan untuk berisolasi. Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Octaviandari dan Sucahyo (2020) yang menggunakan sensor untuk menentukan waktu osilasi secara otomatis. Namun, penelitian tersebut masih mempunyai kelemahan yaitu panjang tali yang merupakan variabel yang berpengaruh terhadap nilai percepatan gravitasi bumi masih diukur secara manual sehingga kurang praktis dan rawan akan kesalahan pengukuran yang menyebabkan ketidakesesuaian data yang didapatkan dengan teori.

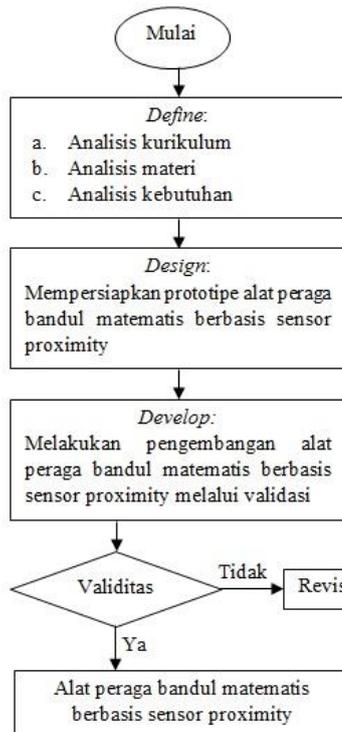
Berdasarkan permasalahan yang telah dijabarkan, peneliti tertarik untuk mengembangkan alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* pada materi getaran harmonis. Dengan dikembangkannya alat peraga bandul matematis ini, dapat mengurangi kesulitan peserta didik dalam melakukan praktikum karena lebih mudah, praktis dan teliti sehingga dapat mempermudah peserta didik dalam penguasaan konsep.

Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendeskripsikan validitas alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi pada materi getaran harmonis dan untuk mendeskripsikan kesesuaian alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi pada materi getaran harmonis terhadap konstanta percepatan gravitasi bumi pada teori.

## **METODE PENELITIAN**

Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan (*Research & Development*) dengan menggunakan model 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*). Namun, dalam penelitian ini hanya dibatasi sampai tahap *Develop* yaitu menghasilkan alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* yang telah tervalidasi oleh ahli. Berikut merupakan alur rancangan penelitian:

(Riduwan, 2015)



**Gambar 1.** Rancangan Alur Penelitian 3D  
Sumber: (Maiyena, dkk., 2020)

Penelitian pengembangan alat peraga bandul matematis ini dilaksanakan di Laboratorium Fisika Universitas Negeri Surabaya. Sumber data dari penelitian pengembangan ini diperoleh dari hasil validitas alat peraga oleh ahli dan data yang diperoleh dari hasil uji coba alat peraga yang telah dikembangkan.

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini yaitu dengan menggunakan instrumen validasi dan melakukan praktikum. Instrumen validasi diberikan kepada validator untuk menilai alat peraga yang telah dikembangkan. Sedangkan praktikum digunakan untuk mendapatkan data dari alat peraga yang telah dikembangkan.

Teknik analisis data pada penelitian ini yaitu analisis deskriptif kuantitatif yang meliputi analisis hasil validasi oleh ahli dan data dari uji coba alat. Analisis hasil validasi oleh ahli digunakan untuk mendeskripsikan kelayakan alat peraga yang telah dikembangkan. Selanjutnya hasil penilaian validitas alat peraga tersebut dianalisis menggunakan skala Likert pada tabel berikut:

Kriteria	Skor
Sangat baik	5
Baik	4
Cukup baik	3
Kurang baik	2
Tidak baik	1

Kemudian dihitung nilai persentase penilaian yang telah diperoleh dengan menggunakan rumus:

$$\text{Persentase penilaian} = \frac{\text{jumlah skor yang diperoleh}}{\text{jumlah skor maksimal}} \times 100\% \quad (1)$$

Setelah itu hasil dari persentase nilai tersebut diinterpretasikan berdasarkan tabel berikut

Persentase	Kriteria
0% - 20%	Sangat tidak layak
21% - 40%	Tidak layak/Tidak baik
41% - 60%	Cukup layak/Cukup Baik
61% - 80%	Layak/Baik
81% - 100%	Sangat layak/Sangat Baik

(Riduwan, 2015)

Berdasarkan kriteria tersebut, alat peraga bandul matematis yang dikembangkan ini dalam kategori layak apabila persentasenya  $\geq 61\%$ .

Analisis hasil data dari uji coba alat peraga yang dikembangkan digunakan untuk mendeskripsikan ketelitian dan kesesuaian alat peraga bandul matematis yang dikembangkan. Data dari uji coba alat dianalisis taraf ketelitiannya dengan menggunakan cara sebagai berikut:

- a. Ketidakpastian ( $\Delta x$ )

$$\Delta x = (x_{\text{maks}} - x_{\text{min}}) / 2 \quad (2)$$

$$SE = (\Delta x / \bar{x}) \times 100\% \quad (3)$$

Dimana:

$\Delta x$  = ketidakpastian data  $x$

$x_{\text{maks}}$  = data  $x$  maksimal

$x_{\text{min}}$  = data  $x$  minimal

$\bar{x}$  = nilai  $x$  rata-rata

SE = Standart Error

- b. Taraf Ketelitian (TK)

$$TK = (100 - SE)\% \quad (4)$$

(Tim Laboratorium Fisika Dasar 1, 2020)

Selanjutnya alat peraga bandul matematis yang berfungsi untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi dianalisis kesesuaiannya dengan teori. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan nilai percepatan gravitasi bumi yang diperoleh berdasarkan praktikum dan nilai percepatan gravitasi bumi berdasarkan teori. Menurut Nasution dan Rahmawati (2019) tingkat kedekatan suatu nilai dari hasil pengukuran dengan nilai sesungguhnya disebut akurasi, yang dapat dihitung tingkat akurasinya dengan menggunakan persamaan berikut:

$$A = 1 - \left| \frac{Y_n - X_n}{Y_n} \right| \quad (5)$$

Dimana:

A = Akurasi relatif

$Y_n$  = Nilai sebenarnya

$X_n$  = Nilai yang terukur

Akurasi juga dapat dinyatakan dalam bentuk persen akurasi sebagai berikut:

$$\text{Akurasi} = A \times 100\% \quad (6)$$

Alat peraga bandul matematis yang dikembangkan dapat dikatakan sesuai apabila mempunyai nilai persen akurasi  $\geq 61\%$ .

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian pengembangan ini menghasilkan alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* yang diuraikan dengan menggunakan model 3D (*Define, Design, Develop*) sebagai berikut:

### 1. Define (Pendefinisian)

Pada tahap *define* dilakukan analisis terhadap kurikulum, materi, dan kebutuhan sebagai langkah awal dalam penelitian.

#### a. Analisis Kurikulum

Dalam penelitian ini mengacu pada kurikulum 2013 revisi. Menurut Kemendikbud (2014) proses pembelajaran di Indonesia harus sesuai dengan kurikulum 2013 yang menggunakan pendekatan ilmiah dalam pembelajaran yang mencakup mengamati, menanya, menalar, mencoba dan mengkomunikasikan. Pendekatan ilmiah tersebut sangat dibutuhkan dalam pembelajaran terutama fisika.

Dalam pembelajaran fisika peserta didik menerapkan keterampilan pendekatan ilmiah tersebut melalui kegiatan praktikum yang dapat melatih peserta didik untuk terampil dalam melakukan suatu prosedur secara mandiri, mengamati, menganalisis, membuktikan dan menarik kesimpulan suatu objek, proses, atau keadaan (Zacharia, 2007).

#### b. Analisis Materi

Analisis materi dilakukan dengan cara menganalisis kompetensi dasar yang ada pada silabus. Fokus materi dalam pembuatan alat peraga bandul matematis adalah getaran dan gelombang pada sub materi getaran harmonis sederhana. Kompetensi dasar pada materi getaran dan gelombang yaitu kompetensi dasar 3.11 dan 4.11 sebagai berikut:

3.11 Menganalisis hubungan antara gaya dan getaran dalam kehidupan sehari-hari.

4.11 Melakukan percobaan getaran harmonis pada ayunan sederhana dan/atau getaran pegas berikut presentasi hasil percobaan serta makna fisisnya.

Agar peserta didik dapat mencapai kompetensi dasar yang telah disebutkan diatas, maka peserta didik

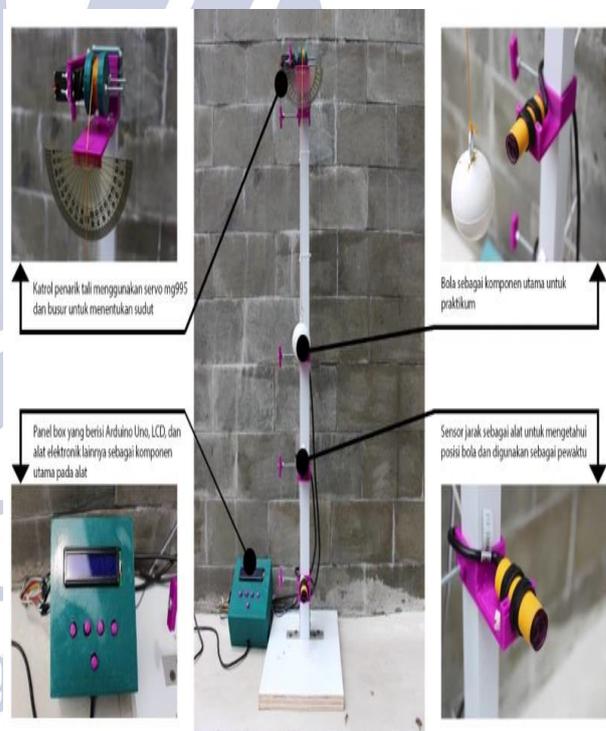
harus melakukan kegiatan percobaan ayunan sederhana dan/atau getaran pegas. Dalam melakukan percobaan dibutuhkan media pembelajaran yang mendukung. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan alat peraga bandul matematis sehingga dapat membantu peserta didik dalam proses pembelajaran untuk mencapai kompetensi dasar tersebut.

#### c. Analisis Kebutuhan

Dalam analisis kebutuhan yang telah dilakukan yaitu dengan cara menganalisis penelitian-penelitian sebelumnya yang sejenis seperti yang diuraikan pada latar belakang penelitian, dapat diketahui bahwa alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan sehingga dapat menunjang proses pembelajaran di sekolah dengan lebih teliti, mudah dan praktis dalam pengoperasiannya.

## 5 Design (Perancangan)

Alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* dikembangkan untuk sub materi getaran harmonis sederhana. Berikut ini merupakan rancangan alat peraga yang dikembangkan:



Gambar 2. Rancangan alat peraga yang dikembangkan

Berikut alat dan bahan beserta fungsinya yang digunakan pada alat peraga yang dikembangkan:

#### 5.11Tiang dan papan kayu

Tiang terbuat dari aluminium dengan panjang dan lebar 2.5 cm serta tinggi 75 cm yang berfungsi sebagai penyangga alat peraga. Papan kayu dengan panjang 25 cm dan lebar 20 cm berfungsi sebagai dudukan tiang agar dapat berdiri tegak.

#### 5.12Motor servo metal gear 995

Motor servo metal gear 995 digunakan sebagai katrol sehingga panjang tali dapat ditentukan secara otomatis.

#### 5.13 Tali dan beban

Pada penelitian ini menggunakan tali yang dililitkan ke katrol sepanjang 1.5 m. Tali yang digunakan dipilih tali yang bersifat rigid karena menurut penelitian Yustiandi dan Saepuzaman (2017) tali yang rigid dapat meminimalisir efek rotasi bandul saat berayun sehingga terjadi gerak harmonis sederhana yang sesuai. Beban yang digunakan pada penelitian ini berupa bola pejal dengan diameter 5 cm. Massa beban dan bentuk beban yang digunakan pada bandul tidak memiliki pengaruh terhadap penentuan nilai percepatan gravitasi bumi (Widya, 2019).

#### 5.14 Sensor proximity

Pada penelitian ini menggunakan 3 buah sensor *proximity* yang digunakan untuk masing-masing panjang tali karena sensor ini berfungsi untuk menentukan beberapa panjang tali yang telah ditentukan secara otomatis, selain itu juga berfungsi untuk menentukan waktu ayun bandul secara otomatis.

#### 5.15 Panel box

Panel box yang digunakan terbuat dari filamen dengan menggunakan teknik *3D printing* sehingga bentuk dan besar panel box dapat sesuai dengan yang dibutuhkan. Di dalam panel box terdapat beberapa komponen penting diantaranya:

##### 5.15.1 Power Supply

*Power supply* merupakan sumber daya untuk menyalakan perangkat lain. Pada alat peraga ini menggunakan input sebesar 5V dengan arus 1A.

##### 5.15.2 Arduino Uno R3

Arduino uno berfungsi untuk mengatur kerja sensor *proximity* dengan cara menerima input/perintah kemudian menjalankan sistem setelah itu menerima output dari sensor *proximity*, mengolah data menjadi waktu tempuh bandul untuk setiap getaran yang ditentukan kemudian menampilkannya pada LCD.

##### 5.15.3 Liquid Crystal Display (LCD)

LCD yang digunakan pada alat peraga yang dikembangkan yaitu LCD 16x2 yang berfungsi untuk menampilkan data hasil output dari sensor *proximity* yang telah diolah oleh arduino uno menjadi data waktu tempuh bandul tiap getaran yang telah ditentukan.

##### 5.15.4 Tombol

Pada panel box terdapat 5 tombol yaitu tombol untuk kembali atau arah kiri, tombol untuk arah bawah, tombol untuk arah atas, tombol untuk enter atau arah kanan, dan tombol reset.

Adapun variabel-variabel yang digunakan pada alat peraga bandul matematis yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

- |                        |   |   |
|------------------------|---|---|
| a. Variabel manipulasi | : | panjang tali (m)                                      |
| b. Variabel kontrol    | : | beban, sudut, dan banyak getaran                      |
| c. Variabel respon     | : |   |
| Ukur                   | : | waktu ayun (s)  |
| Hitung                 | : | periode (s) dan percepatan gravitasi bumi ( $m/s^2$ ) |

Berikut ini merupakan definisi operasional variabel pada praktikum bandul matematis:

- Panjang tali : Panjang tali diukur dari titik nol busur sampai ujung bola. Dalam praktikum ini terdapat 3 manipulasi dengan kontrol sensor *proximity* yaitu 30 cm, 45 cm, dan 60 cm.
- Beban : Beban yang digunakan dalam praktikum hanya 1 yaitu bola yang telah digantung pada tali.
- Sudut : Besarnya simpangan saat bandul akan diayunkan. Menurut Yanti, dkk. (2020) untuk menghasilkan getaran harmonis sederhana pada sistem bandul matematis sudut simpangannya harus kurang dari  $15^\circ$ .
- Banyak getaran : Banyaknya getaran atau ayunan yang akan ditentukan waktu tempuhnya. Pada alat peraga yang dikembangkan ini terdapat 4 menu pilihan banyak getaran (n) yaitu 5, 10, 15, 20.
- Waktu ayun : Waktu yang diperlukan bandul untuk melakukan ayunan atau getaran sesuai dengan yang ditentukan praktikan.
- Periode : Waktu yang diperlukan benda untuk melakukan 1 getaran. Periode diperoleh dari perhitungan waktu yang didapatkan dari praktikum.
- Percepatan gravitasi bumi : nilai konstanta gravitasi bumi yang akan dicari dan dibandingkan dengan teori.

Untuk menentukan nilai gravitasi bumi dari data praktikum yaitu dengan cara menghitung nilai periode dari data waktu yang diperoleh. Menurut Ostrander (2016), untuk menghitung nilai periode dari data waktu tempuh bandul dengan menggunakan persamaan berikut:

$$T = \frac{t}{n} \quad (7)$$

dimana,

- T = periode  
t = waktu tempuh bandul  
n = banyak getaran atau ayunan

Setelah itu, menurut Pili dan Violanda (2018) untuk menghitung nilai percepatan gravitasi bumi dari periode

yang telah diperoleh dapat menggunakan cara sebagai berikut:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (8)$$

dimana,

g = percepatan gravitasi bumi (m/s<sup>2</sup>)

l = panjang tali (m)

T = periode (s)

### 6 Develop (Pengembangan)

Alat peraga bandul matematis yang telah dikembangkan divalidasi oleh 2 dosen ahli dengan menggunakan instrumen validasi. Hasil penilaian, saran, dan komentar dari validator digunakan untuk memperbaiki alat peraga bandul matematis yang telah dikembangkan sehingga tercipta alat peraga bandul matematis yang valid. Data hasil validasi alat peraga bandul matematis oleh ahli dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 3.** Hasil Rekapitulasi Validasi Alat Peraga

No.	Aspek yang dinilai	Hasil penilaian		Jumlah
		Validator 1	Validator 2	
1.	Kesesuaian alat dengan konsep yang diajarkan	5	5	10
2.	Kemudahan perawatan alat	5	4	9
3.	Keakuratan alat yang dibuat	5	5	10
4.	Kemudahan pengoperasian alat	5	5	10
5.	Konstruksi aman bagi peserta didik	5	5	10
6.	Alat memiliki nilai estetika (warna dan bentuk)	5	4	9
7.	Kemudahan mencari, mengambil, dan menyimpan alat	4	4	8
<b>Total</b>				<b>66</b>
<b>Persentase Validasi</b>				<b>94.29%</b>

Berdasarkan data hasil penilaian validasi diperoleh persentase validasi sebesar 94.29% yang menunjukkan bahwa alat peraga bandul matematis yang dikembangkan valid. Selain mendapat penilaian, juga mendapat saran untuk perbaikan alat yaitu menambah penghalang untuk alat peraga agar meminimalisir adanya gangguan angin dan memberikan label pada tombol. Perbaikan alat peraga berdasarkan saran yang diberikan, dapat dilihat pada tabel berikut:

**Tabel 4.** Perbaikan Hasil Validasi

Sebelum perbaikan	Setelah perbaikan
 <p>Tidak terdapat penghalang untuk meminimalisir gangguan angin</p>	 <p>Terdapat penghalang untuk meminimalisir gangguan angin</p>
 <p>Tidak terdapat label untuk setiap tombol</p>	 <p>Terdapat label untuk setiap tombol</p>

Setelah menganalisis hasil validasi, dilakukan analisis hasil uji coba alat secara terbatas oleh peneliti yaitu:

a. Analisis ketepatan dan ketelitian pengontrol panjang tali.

Analisis ketepatan dan ketelitian pengontrol panjang tali dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran dari motor servo dan hasil pengukuran dari alat ukur sederhana yaitu meteran. Berikut merupakan hasil pengukuran ketelitian pengontrol panjang tali:

**Tabel 5.** Ketepatan pengukuran panjang tali dengan kontrol motor servo

No.	Panjang tali (m)		Persen ketelitian
	Motor servo	Meteran	
1.	0.300	0.227	99.70%

2.	0.450	0.448	99.80%
3.	0.600	0.598	99.80%
<b>Rata-Rata Persen Ketelitian</b>			<b>99.76%</b>

Berdasarkan, data uji coba pada pengukuran panjang tali secara otomatis dengan menggunakan motor servo, diperoleh hasil ketepatan dan ketelitian yaitu sebesar 99.76%.

b. Analisis taraf ketelitian alat peraga

Analisis taraf ketelitian alat peraga diperoleh dari hasil praktikum dengan kontrol banyak getaran (n), sudut simpangan ( $\theta$ ), beban dan manipulasi panjang tali sebanyak 3 kali yang tiap manipulasi dilakukan praktikum berulang sebanyak 9 kali, serta respon yang diperoleh yaitu waktu tempuh bandul (t). Berikut merupakan hasil data praktikum yang diperoleh:

**Tabel 6.** Data panjang tali pertama

n	$\theta^\circ$	l (m)	t (s)	T (s)		
15	7	0.30	16.582	1.1054		
			16.582	1.1054		
			16.583	1.1055		
			16.578	1.1052		
			16.578	1.1052		
			16.583	1.1055		
			16.582	1.1054		
			16.582	1.1054		
			16.582	1.1054		
			16.578	1.1052		
			$\bar{t} = \bar{T} =$			
			<b>16.581</b>	<b>1.1054</b>		

Percobaan pertama pada panjang tali 30 cm.  
Data pada sensor 1

$$\Delta t = (t_{\text{maks}} - t_{\text{min}}) / 2 = 0.0025 \text{ s}$$

$$SE = (\Delta t / \bar{t}) \times 100\% = 0.02\%$$

$$\text{Taraf ketelitian } \Delta t = 100\% - SE = 99.98\%$$

Sehingga taraf ketelitian untuk sensor 1 sebesar 99.98% yang termasuk ke dalam kategori sangat baik.

**Tabel 7.** Data panjang tali kedua

n	$\theta^\circ$	l (m)	t (s)	T (s)
15	7	0.45	20.274	1.3516
			20.279	1.3519
			20.275	1.3517
			20.274	1.3516
			20.274	1.3516
			20.267	1.3511
			20.275	1.3517

	20.268	1.3512
	20.279	1.3519
$\bar{t} = \bar{T} =$		
	<b>20.274</b>	<b>1.3516</b>

Percobaan kedua pada panjang tali 45 cm.

Data pada sensor 2

$$\Delta t = (t_{\text{maks}} - t_{\text{min}}) / 2 = 0.006 \text{ s}$$

$$SE = (\Delta t / \bar{t}) \times 100\% = 0.03\%$$

$$\text{Taraf ketelitian } \Delta t = 100\% - SE = 99.97\%$$

Sehingga taraf ketelitian untuk sensor 2 sebesar 99.97% yang termasuk ke dalam kategori sangat baik.

**Tabel 8.** Data panjang tali ketiga

n	$\theta^\circ$	l (m)	t (s)	T (s)		
15	7	0.60	23.354	1.5569		
			23.358	1.5572		
			23.351	1.5567		
			23.358	1.5572		
			23.354	1.5569		
			23.354	1.5569		
			23.352	1.5568		
			23.352	1.5568		
			23.354	1.5569		
			$\bar{t} = \bar{T} =$			
			<b>23.354</b>	<b>1.5569</b>		

Percobaan ketiga pada panjang tali 60 cm.

Data pada sensor 3

$$\Delta t = (t_{\text{maks}} - t_{\text{min}}) / 2 = 0.0035 \text{ s}$$

$$SE = (\Delta t / \bar{t}) \times 100\% = 0.02\%$$

$$\text{Taraf ketelitian } \Delta t = 100\% - SE = 99.98\%$$

Sehingga taraf ketelitian untuk sensor 3 sebesar 99.98% yang termasuk ke dalam kategori sangat baik.

Berdasarkan analisis data yang telah diperoleh, alat peraga bandul matematis yang dikembangkan memiliki taraf ketelitian yang sangat baik dengan persentase rata-rata sebesar 99.98%.

c. Analisis kesesuaian alat peraga

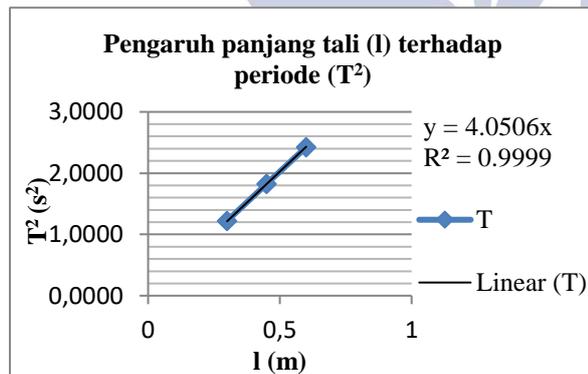
Berdasarkan data praktikum diatas, untuk menghitung nilai percepatan gravitasi bumi dengan menggunakan persamaan (8) dibentuk dalam tabel berikut:

**Tabel 9.** Nilai rata-rata percepatan gravitasi bumi

l (m)	T̄ (s)	T̄ <sup>2</sup> (s <sup>2</sup> )	g (m/s <sup>2</sup> )
0.30	1.1054	1.2219	9.68
0.45	1.3516	1.8268	9.71
0.60	1.5569	2.4240	9.76
<b>Σ g/3</b>			<b>9.72</b>

Berdasarkan tabel 9, nilai percepatan gravitasi bumi yang diperoleh dari hasil praktikum yaitu 9.72 m/s<sup>2</sup>, sedangkan secara teoritis nilai percepatan gravitasi bumi yaitu 9.8 m/s<sup>2</sup> (Tipler, 2001). Hasil yang sedikit berbeda antara nilai percepatan gravitasi bumi dari praktikum dan teori dapat disebabkan karena alat peraga bandul matematis yang dikembangkan tidak dibuat seperti kondisi ideal (hampa udara). Alat peraga hanya diberi penutup yang berfungsi untuk meminimalisir adanya gangguan angin. Tingkat akurasi nilai percepatan gravitasi bumi yang diperoleh dari hasil praktikum sebesar 99.18%.

Berdasarkan data pada Tabel 9, dapat dibuat grafik hubungan pengaruh panjang tali (l) terhadap periode (T<sup>2</sup>) yang dapat menghasilkan persamaan regresi untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi. Grafik hubungan antara panjang tali dan periode dapat dilihat sebagai berikut:



**Gambar 3.** Grafik Pengaruh panjang tali terhadap periode

Berdasarkan grafik tersebut, pengaruh panjang tali terhadap periode yaitu sebanding, artinya semakin panjang tali maka periode bandul juga semakin besar. Hal ini sesuai dengan persamaan (8) dimana l atau panjang tali sebanding dengan T atau periode. Dari grafik tersebut juga diperoleh persamaan regresi yaitu = 4.0506x, apabila x merupakan l dan y merupakan T<sup>2</sup> kemudian disubstitusikan pada persamaan (8) maka diperoleh nilai percepatan gravitasi bumi dari grafik yaitu 9.74 m/s<sup>2</sup> dengan korelasi R<sup>2</sup> = 0.9999 yang dapat diasumsikan bahwa taraf ketelitiannya sebesar 99.99%.

Berdasarkan hasil analisis dari tabel 9 dan grafik 1, alat peraga bandul matematis yang dikembangkan memiliki akurasi rata-rata sebesar 99.59% yang masuk dalam kategori sangat baik.

Kelebihan alat peraga bandul matematis ini adalah panjang tali yang merupakan variabel manipulasi dalam praktikum dapat ditentukan secara otomatis menggunakan motor servo dan sensor *proximity* yang dapat mempermudah peserta didik dalam praktikum sehingga dapat lebih teliti dan praktis dalam pengukurannya. Selain itu, alat peraga ini juga dilengkapi dengan penghalang yang berfungsi untuk meminimalisir gangguan angin yang dapat menyebabkan gerak ayun bandul saat praktikum serta dalam penentuan waktu ayun bandul lebih akurat karena jarak sensor terhadap beban untuk tiap manipulasi panjang tali sama.

Kekurangan alat peraga bandul matematis ini adalah pada saat panjang tali kurang dari 35 cm, simpangan bandul harus lebih besar dari 5<sup>o</sup> karena apabila lebih dari itu sensor *proximity* tidak dapat mendeteksi pergerakan ayun bandul dengan baik sehingga data waktu yang ditampilkan tidak sesuai. Hal ini terjadi karena beban yang digunakan dalam alat peraga ini memiliki diameter yang masih cukup besar sehingga ketika berayun tidak melewati sensor *proximity* namun selalu menutup sensor.

### SIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini, dapat disimpulkan bahwa validitas alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi pada materi getaran harmonis termasuk dalam kategori sangat baik. Hal ini dapat diketahui dari hasil validasi alat peraga yang memperoleh persentase sebesar 94.29% dan taraf ketelitian alat peraga pada sensor *proximity* pertama sebesar 99.98%, sensor *proximity* kedua sebesar 99.97%, dan sensor *proximity* ketiga sebesar 99.98%.

Kesesuaian alat peraga bandul matematis berbasis sensor *proximity* untuk menentukan nilai percepatan gravitasi bumi pada materi getaran harmonis terhadap konstanta gravitasi bumi pada teori termasuk dalam kategori sangat baik. Hal tersebut dapat diketahui dari hasil percobaan menggunakan alat peraga yang menunjukkan bahwa alat peraga memiliki akurasi rata-rata sebesar 99.53%. Nilai percepatan gravitasi yang diperoleh tidak jauh berbeda dengan teori yaitu sebesar 9.72 m/s<sup>2</sup> melalui perhitungan rumus dan 9.74 m/s<sup>2</sup> melalui perhitungan dari persamaan regresi dari grafik.

Secara keseluruhan dilihat dari hasil validitas dan kesesuaian, alat peraga bandul matematis berbasis sensor

*proximity* pada materi getaran harmonis layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika kelas X SMA.

Berdasarkan simpulan yang telah dijabarkan, terdapat implikasi dari penelitian ini yaitu alat peraga bandul matematis yang telah dikembangkan dapat digunakan sebagai media pembelajaran untuk membantu guru dalam menjelaskan materi getaran harmonis sederhana pada peserta didik dengan lebih nyata, mudah, dan akurat. Dengan menggunakan alat peraga, peserta didik dapat lebih aktif dan dapat melatih keterampilan proses sains, sehingga kompetensi dasar dan pembelajaran sesuai kurikulum 2013 dapat tercapai.

Keterbatasan dari penelitian ini diantaranya yaitu tidak dilakukan penyebaran atau uji coba ke peserta didik sehingga peneliti tidak mengetahui penilaian dari subjek yang akan menggunakan alat peraga ini. Selain itu, pada alat peraga yang dikembangkan ini hanya mempunyai tiga manipulasi panjang tali dan saat panjang tali kurang dari 35 cm simpangannya harus lebih besar dari  $5^0$  agar sensor dapat mendeteksi gerak ayun bandul dengan baik.

Saran untuk penelitian lanjutan dari penelitian ini adalah memperbanyak variabel manipulasi (panjang tali) agar data yang didapatkan semakin banyak dan beragam dengan cara mengganti sistem kontrol otomatis panjang tali, mengganti sensor agar dapat mendeteksi bandul dengan simpangan yang lebih kecil dengan tepat dan akurat pada panjang tali yang kurang dari 35 cm, mengganti beban yang digunakan dengan ukuran yang lebih kecil namun tetap berat agar dapat meminimalisir gesekan angin.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- Dewi, I. N. A. (2014). Pengembangan alat peraga bandul matematis untuk melatih keterampilan proses siswa pada materi gerak harmonik sederhana di kelas XI SMAN 3 Tuban. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 3(2), 189-194.
- Hardianti, H., Nurhayati, N., & Yani, A. (2015). Peranan pendekatan scientific terhadap hasil belajar fisika peserta didik kelas x sma negeri 1 lappariaja. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 11(1), 34-39.
- Hofstein, A dan Naaman, R.M. 2007. The Laboratory In Science Education: The State Of The Art. *Journal of Chemistry Education and Practice* 8(2), 105-107.
- Huriawati, F., & Yusro, A. C. (2017). Pengembangan odd" osilator digital detector" sebagai alat peraga praktikum gerak harmonik sederhana. *Jurnal Inovasi Dan Pembelajaran Fisika*, 4(1), 1-10.
- Kemendikbud. 2014. Konsep dan Implementasi Kurikulum 2013. Jakarta: Kementrian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Maharani, M., Wati, M., & Hartini, S. (2017). Pengembangan alat peraga pada materi usaha dan energi untuk melatih keterampilan proses sains melalui model Inquiry Discovery Learning (IDL terbimbing). *Berkala Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 351-367.
- Maiyena, S., & Imamora, M. (2020). Pengembangan Modul Elektronik Fisika Berbasis Konstruktivisme untuk Kelas X SMA. *Journal of Teaching and Learning Physics*, 5(1), 01-18.
- Nasution, H. M., Endah Rahmawati. 2019. Rancang Bangun Kit Eksperimen Gaya Sentripetal Berbasis Mikrokontroler. *Inovasi Fisika Indonesia*, 8(2), 33-38.
- Nomleni, F. T., & Manu, T. S. N. (2018). Pengembangan media audio visual dan alat peraga dalam meningkatkan pemahaman konsep dan pemecahan masalah. *Scholaria: Jurnal Pendidikan dan Kebudayaan*, 8(3), 219-230.
- Octaviandari, H., & Sucahyo, I. (2020). Pengembangan Media Pembelajaran Materi Gerak Harmonik Sederhana Untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Peserta Didik Pada Kelas X. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 9(2), 90-95.
- Ostrander, J. (2015). Wave function modelling of a pendulum-spring system exhibiting simple harmonic motion. *Physics Education*, 51(1), 015016.
- Pili, U., & Violanda, R. (2018). A simple pendulum-based measurement of g with a smartphone light sensor. *Physics Education*, 53(4), 1-4.
- Riduwan. 2015. *Dasar-Dasar Statistika*. Bandung: Alfabeta.
- Shidqi, M. I. M., & Anggaryani, M. (2020). Pengembangan Alat Peraga Berbasis Sensor Flowmeter Untuk Menerapkan Persamaan Kontinuitas Pada Materi Fluida Dinamis. *Inovasi Pendidikan Fisika*, 9(2), 133-143.
- Tim Laboratorium Fisika Dasar. 2020. *Buku Panduan Praktikum Fisika Dasar 1*. Surabaya: Jurusan Fisika Universitas Negeri Surabaya.
- Tipler, P. A. 2001. *Fisika Untuk Sains dan Teknik*. Jakarta: Erlangga.
- Widya, H. (2019). Variasi Bentuk Bandul untuk Meningkatkan Pemahaman Peserta Didik Dalam Penentuan Nilai Gravitasi Bumi pada Ayunan Sederhana. *JIFP (Jurnal Ilmu Fisika dan Pembelajarannya)*, 3(1), 42-46.
- Yani, Y., & Asrizal (2019). Pembuatan tool pemodelan eksperimen bandul matematis dengan pengontrolan

panjang tali otomatis untuk analisis video tracker. *Pillar Of Physics*, 12(2), 76-83.

Yanti, D. E. B., Subiki, dan Yushardi. 2016. Analisis Sarana Prasarana Laboratorium Fisika dan Intensitas Kegiatan Praktikum Fisika dalam Mendukung Pelaksanaan Pembelajaran Fisika SMA Negeri di Kabupaten Jember. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 5(1), 41-46.

Yanti, Y., Mulyaningsih, N. N., & Saraswati, D. L. (2020). Pengaruh panjang tali, massa dan diameter bandul terhadap periode dengan variasi sudut. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, 5(1), 6-10.

Yustiandi, Y., & Saepuzaman, D. (2017). Redesain Alat Peraga Dan Lembar Kerja Percobaan Bandul Sederhana Untuk Meningkatkan Kemampuan Siswa Bereksperimen. *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal) SNF2017 UNJ*.

Zacharia, Z. (2007). Comparing and Combining Real and Virtual Experimentation: An Effort to Enhance Students' Conceptual Understanding of Electric Circuits. *Journal of Computer Assisted Learning*. 23(2), 120-132.

