

Rancang Bangun Alat Gerak Jatuh Bebas Berbasis Arduino Uno Pada Praktikum Fisika

Julie C. Rante¹, Ryan L. Singgeta², Chrysantus M.M. Padachan³, Randi A. Koyongian⁴

^{1,2,3,4}Teknik Elektro, Universitas Katolik De La Salle, Manado, Indonesia

Article Info

Article history:

Diterima 13 Oktober 2023

Revisi 14 Oktober 2023

Diterbitkan 27 Oktober, 2023

Keywords:

Gerak Jatuh Bebas

Percepatan

Stopwatch

Arduino Uno

Sensor Infrared

ABSTRAK

Gerak jatuh bebas adalah gerakan suatu benda yang terjatuh ke bawah karena pengaruh gaya gravitasi bumi, tanpa adanya gaya-gaya lain yang signifikan yang mempengaruhi pergerakan tersebut. Dalam gerak jatuh bebas, percepatan benda selalu konstan dan menuju ke arah bawah, dan nilainya sekitar 9,8 meter per detik kuadrat (m/s^2) di permukaan bumi. Implementasi alat peraga gerak jatuh bebas diharapkan dapat membantu mahasiswa dalam melakukan praktikum fisika dasar sehingga praktikum tidak dilakukan lagi secara manual menggunakan *stopwatch*. Selain itu, dengan adanya alat peraga ini, data hasil pengukuran yang didapatkan lebih konstan karena telah tersusun didalam sistem, sehingga hasil yang didapatkan akan lebih akurat. Implementasi alat gerak jatuh bebas ini digunakan untuk mengukur waktu tempuh benda, kecepatan, dan nilai gravitasi saat jatuh bebas dari ketinggian 60 cm dan 30 cm. Dalam penentuan waktu tempuh, dapat dideteksi menggunakan *timer* pada Arduino Uno dan sensor *infrared* yang akan mendeteksi serta membaca saat ada benda yang lewat. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan pada ketinggian 60 cm menggunakan bola pingpong, kelereng besar, dan kelereng kecil, maka nilai percepatan gravitasi yang didapat adalah hampir sama dengan nilai rata-rata percepatan gravitasi hasil pengukuran secara berurutan adalah (9,99; 10,00; 10,24) m/s^2 . Pada ketinggian 30 cm menggunakan bola pingpong, kelereng besar, dan kelereng kecil, nilai percepatan gravitasi yang didapatkan adalah 10,62 m/s^2 .

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Corresponding Author:

Julie Cynthia Rante,

Universitas Katolik De La Salle Manado, Kairagi I Kombos, Manado - 95253, Indonesia

Email: jrante@unikadelasalle.ac.id

1. PENDAHULUAN

Fisika merupakan salah satu disiplin ilmu pengetahuan alam yang mencakup berbagai fenomena fisis abstrak dan mengkaji gejala alam. Dalam bidang fisika, fenomena fisik dan gejala alam tersebut dapat dijelaskan melalui konsep teori dan eksperimen. Gerak jatuh bebas adalah gerakan suatu benda yang terjatuh ke bawah karena pengaruh gaya gravitasi bumi, tanpa adanya gaya-gaya lain yang signifikan yang mempengaruhi pergerakan tersebut.

Menurut Giancolli, gerak jatuh bebas adalah gerak jatuhnya suatu benda secara vertikal dengan ketinggian tertentu dan tanpa adanya kecepatan awal. Menurut Galileo, jika udara dan hambatannya diabaikan dalam suatu percobaan, maka semua benda akan mengalami percepatan yang konstan. Berdasarkan teorinya, hanya gravitasi bumi (g) yang mempengaruhi gerak jatuh bebas benda, sedangkan faktor lainnya dapat diabaikan. Nilai percepatan benda pada gerak jatuh bebas hampir sama dengan nilai gravitasi bumi (g), yang besarnya setara dengan 9,8 m/s^2 . [1]

Menurut Giancolli, dalam membuktikan setiap teori mengenai gerak jatuh bebas, diperlukan eksperimen untuk menguji dan menganalisis data hasil pengukuran sesuai dengan teori yang ada. Namun, terdapat permasalahan kurangnya alat-alat penunjang praktikum. Ilmu fisika tidak efektif apabila hanya diberikan teori saja, melainkan harus dilakukan praktik atau eksperimen langsung dalam kehidupan nyata agar bisa relevan. [3].

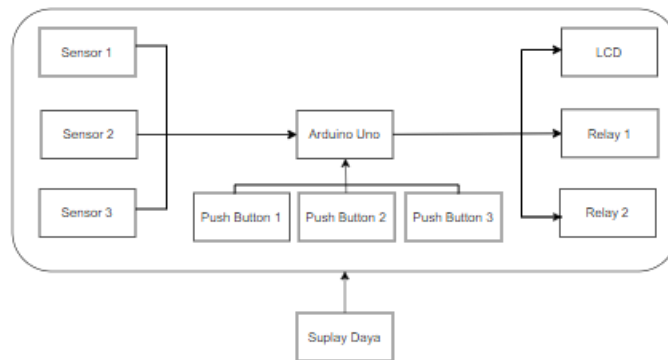
Menurut penelitian yang dilakukan oleh Dasriyani, pengembangan alat gerak jatuh bebas dapat menghasilkan data waktu yang lebih akurat dan mempercepat proses pengolahan data. Secara umum, pengambilan data waktu secara manual dengan menggunakan stopwatch dapat mengakibatkan tingkat akurasi dan presisi pengukuran waktu relatif menjadi rendah.[2]

Pada penelitian ini, telah dibuat sebuah alat peraga gerak jatuh bebas yang nantinya dapat membantu mahasiswa dalam melakukan praktikum fisika yang sebelumnya melakukan praktikum gerak jatuh bebas secara manual dengan menggunakan stopwatch. Selain itu, dengan adanya alat ini, data hasil pengukuran yang diperoleh akan lebih konsisten karena telah terintegrasi dalam sistem, sehingga hasil yang diperoleh akan lebih akurat. Implementasi alat gerak jatuh bebas ini digunakan untuk mengukur waktu tempuh benda, kecepatan, dan nilai gravitasi saat jatuh bebas dari ketinggian 60 cm dan 30 cm. Dalam penentuan waktu tempuh, dapat dideteksi menggunakan timer pada Arduino Uno dan sensor infrared yang akan mendeteksi serta membaca setiap benda yang lewat dimana hasilnya akan ditampilkan pada layar LCD.

2. METODE

Dalam konsep perancangan sistem, terdapat empat tahap perancangan yang harus dilakukan. Tahap-tahap tersebut terdiri dari perancangan perangkat keras, perancangan perangkat lunak, perancangan sistem mekanik, dan pengujian alat dengan pengambilan data. Alat gerak jatuh bebas ini dirancang untuk mengukur waktu tempuh benda, kecepatan, dan nilai gravitasi saat jatuh bebas dari ketinggian 60cm dan 30cm.

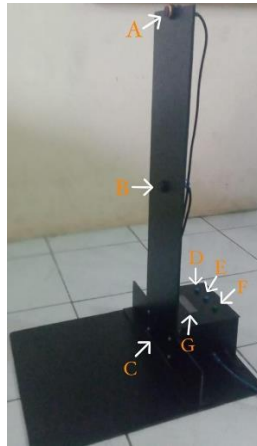
Pada Perancangan perangkat keras alat gerak jatuh bebas, terdapat blok sistem yang terdiri dari *input*, proses, dan *output*. *Input* pada sistem perangkat keras terdiri dari tiga sensor *infrared* dan tiga *push button*. Pemrosesan data dilakukan melalui kontroler Arduino Uno yang telah dilengkapi dengan *coding* sesuai dengan perangkat kerasnya. *Output* pada sistem terdiri dari *Liquid Crystal Display* (LCD) dan dua *relay 5V*. Suplai daya atau adaptor digunakan sebagai sumber arus untuk menjaga agar alat gerak jatuh bebas tetap dapat digunakan meskipun tidak terhubung dengan laptop atau komputer. Perancangan perangkat keras alat gerak jatuh bebas dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram *hardware* alat gerak jatuh bebas

2.1. Diagram Alur Sistem

Pada diagram alur sistem, terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan dalam penggunaan alat gerak jatuh bebas. Selain itu, diagram alur juga mencakup berbagai keputusan yang harus dipertimbangkan dalam menjalankan proses atau percobaan. Dengan adanya diagram alur, dapat dengan mudah dilihat gambaran atau jalannya percobaan menggunakan alat gerak jatuh bebas. Gambar 2 merupakan gambar dari alat gerak jatuh bebas berbasis Arduino Uno yang telah dibuat. Dan gambar 3 menunjukkan diagram alur percobaan gerak jatuh bebas.



Gambar 2. Alat gerak jatuh bebas berbasis arduino uno

Keterangan:

- A = Sensor Proximity 1
- B = Sensor Proximity 2
- C = Sensor Proximity 3
- D = Push Button 1
- E = Push Button 2
- F = Reset
- G = LCD



Gambar 3. Flowchart percobaan gerak jatuh bebas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data dari percobaan gerak jatuh bebas diperoleh dari tiga objek yang berbeda, yakni bola pingpong, kelereng besar, dan kelereng kecil. Pengumpulan data dilakukan dalam dua cara, yaitu menggunakan alat gerak jatuh bebas dan secara manual.

Tabel 1. Data Percobaan Menggunakan Alat Gerak Jatuh Bebas

Tinggi (cm)	Bola pingpong (2,7gr)				Kelereng besar (22 gr)				Kelereng kecil (5,7gr)			
	t (S)	v (m/s)	g (m/s ²)	\bar{g} (m/s ²)	t (S)	v (m/s)	g (m/s ²)	\bar{g} (m/s ²)	t (S)	v (m/s)	g (m/s ²)	\bar{g} (m/s ²)
60	0,35	3,4	9,68	9,99	0,33	3,6	11,00	10,00	0,35	3,4	9,80	10,24
	0,33	3,6	11,00		0,35	3,4	9,68		0,35	3,4	9,74	
	0,35	3,4	9,74		0,35	3,4	9,74		0,35	3,4	9,68	
	0,35	3,4	9,74		0,33	3,6	11,00		0,33	3,6	11,00	
	0,35	3,4	9,80		0,37	3,2	8,58		0,33	3,6	11,00	
30	0,24	2,5	10,70	10,62	0,24	2,5	10,60	10,62	0,24	2,5	10,70	10,62
	0,24	2,5	10,70		0,24	2,5	10,60		0,24	2,5	10,70	
	0,24	2,5	10,60		0,24	2,5	10,60		0,24	2,5	10,50	
	0,24	2,5	10,60		0,24	2,5	10,60		0,24	2,5	10,60	
	0,24	2,5	10,5		0,24	2,5	10,70		0,24	2,5	10,60	

Berdasarkan data yang tertera pada tabel 1, terlihat bahwa percobaan telah dibagi menjadi dua bagian berdasarkan ketinggiannya. Pada ketinggian 60 cm, percobaan telah dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan tiga jenis benda yang berbeda, dan pada ketinggian 30 cm, percobaan juga telah dilakukan sebanyak lima kali dengan menggunakan tiga jenis benda yang berbeda. Pada setiap percobaan, nilai waktu, kecepatan, dan gravitasi akan diperoleh. Saat percobaan dilakukan pada ketinggian 60 cm dengan menggunakan bola pingpong, kelereng besar, dan kelereng kecil, nilai waktu, kecepatan, dan gravitasi yang diperoleh hampir sama. Nilai rata-rata gravitasi secara berurutan untuk bola pingpong, kelereng besar, dan kelereng kecil adalah (9,99; 10,00; 10,24) m/s². Ketika percobaan dilakukan pada ketinggian 30 cm menggunakan bola pingpong, kelereng besar, dan kelereng kecil, ditemukan bahwa nilai waktu, kecepatan, dan gravitasi hampir sama. Nilai rata-rata gravitasi pada ketiga benda yang berbeda tersebut adalah 10,62 m/s². Selain eksperimen yang dilakukan dengan menggunakan alat, eksperimen juga dilakukan secara manual, di mana perhitungan waktu dilakukan dengan menggunakan *stopwatch*. Tabel 2 adalah tabel yang berisi data yang diperoleh dari percobaan secara manual.

Tabel 2. Data Percobaan Manual

Tinggi (cm)	Bola pingpong (2,7gr)				Kelereng besar (22 gr)				Kelereng kecil (5,7gr)			
	t (S)	v (m/s)	g (m/s ²)	\bar{g} (m/s ²)	t (S)	v (m/s)	g (m/s ²)	\bar{g} (m/s ²)	t (S)	v (m/s)	g (m/s ²)	\bar{g} (m/s ²)
60	0,29	4,14	14,27	16,37	0,28	4,28	15,30	16,25	0,29	4,14	14,27	16,30
	0,25	4,80	19,20		0,27	4,44	16,46		0,26	4,62	17,75	
	0,26	4,62	17,75		0,28	4,28	15,30		0,26	4,62	17,75	
	0,28	4,28	15,30		0,27	4,44	16,46		0,27	4,44	16,46	
	0,28	4,28	15,30		0,26	4,62	17,75		0,28	4,28	15,30	
30	0,15	4,00	26,67	26,81	0,15	4,00	26,67	26,16	0,15	4,00	26,67	26,02
	0,15	4,00	26,67		0,16	3,74	23,43		0,15	4,00	26,67	
	0,14	4,29	30,61		0,16	3,74	23,43		0,15	4,00	26,67	
	0,16	3,74	23,43		0,14	4,29	30,61		0,16	3,73	23,43	
	0,15	4,00	26,67		0,15	4,00	26,67		0,15	4,00	26,67	

Dalam percobaan manual ini, hanya diperoleh nilai waktu (t) dan tinggi (h). Oleh karena itu, nilai kecepatan (v) dan nilai gravitasi (g) dihitung secara manual menggunakan persamaan (1) dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 3 dan tabel 4.[3]

$$h = \frac{1}{2} g \cdot t^2$$

$$h \cdot 2 = g \cdot t^2$$

$$g = \frac{2h}{t^2}$$

(1)

Tabel 3. Perhitungan Nilai Gravitasi Pada Ketinggian 60 cm

No.	Bola pingpong	Kelereng besar	Kelereng kecil
1.	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,29)^2$ $g = (1,2)/(0,0841)$ $g = 14,27 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,28)^2$ $g = (1,2)/(0,0784)$ $g = 15,30 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,29)^2$ $g = (1,2)/(0,0841)$ $g = 14,27 \text{ m/s}^2$
2.	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,25)^2$ $g = (1,2)/(0,0625)$ $g = 19,20 \text{ m/s}^2$	$(2 \cdot (0,6))/(0,27)^2$ $(1,2)/(0,0729)$ $6,46 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,26)^2$ $g = (1,2)/(0,0676)$ $g = 17,75 \text{ m/s}^2$
3.	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,26)^2$ $g = (1,2)/(0,0676)$ $g = 17,75 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,28)^2$ $g = (1,2)/(0,0784)$ $g = 15,30 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,26)^2$ $g = (1,2)/(0,0676)$ $g = 17,75 \text{ m/s}^2$
4.	$(2 \cdot (0,6))/(0,28)^2$ $(1,2)/(0,0784)$ $g = 15,30 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,27)^2$ $g = (1,2)/(0,0729)$ $g = 16,46 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,27)^2$ $g = (1,2)/(0,0729)$ $g = 16,46 \text{ m/s}^2$
5.	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,28)^2$ $g = (1,2)/(0,0784)$ $g = 15,30 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,26)^2$ $g = (1,2)/(0,0676)$ $g = 17,75 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,6))/(0,28)^2$ $g = (1,2)/(0,0784)$ $g = 15,30 \text{ m/s}^2$

Tabel 4. Perhitungan Nilai Gravitasi Pada Ketinggian 30 cm

No.	Bola pingpong	Kelereng besar	Kelereng kecil
1.	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$
2.	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,16)^2$ $g = (0,6)/(0,0256)$ $g = 23,43 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$
3.	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,14)^2$ $g = (0,6)/(0,0196)$ $g = 30,61 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,16)^2$ $g = (0,6)/(0,0256)$ $g = 23,43 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$
4.	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,16)^2$ $g = (0,6)/(0,0256)$ $g = 23,43 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,14)^2$ $g = (0,6)/(0,0196)$ $g = 30,61 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,16)^2$ $g = (0,6)/(0,0256)$ $g = 23,43 \text{ m/s}^2$
5.	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$	$g = (2 \cdot (0,3))/(0,15)^2$ $g = (0,6)/(0,0225)$ $g = 26,67 \text{ m/s}^2$

Berdasarkan nilai perhitungan gravitasi yang didapatkan, maka dilakukan perhitungan kecepatan benda menggunakan persamaan (2) sebagai berikut.

$$v = g \cdot t$$

(2)

Dimana, v merupakan kecepatan, g merupakan percepatan gravitasi benda dari perhitungan sebelumnya, dan t merupakan waktu tempuh jatuh benda dari percobaan manual yang telah dilakukan. Berikut merupakan perhitungan untuk kecepatan benda pada tinggi 60 cm dan 30 cm seperti terlihat pada tabel 5 dan tabel 6.

Tabel 5. Perhitungan Kecepatan Benda Pada Ketinggian 60 cm

No.	<u>Bola pingpong</u>	<u>Kelereng besar</u>	<u>Kelereng kecil</u>
1.	$v = 14,27. (0.29)$ $v = 4,14 \text{ m/s}$	$v = 15,30. (0.28)$ $v = 4,28 \text{ m/s}$	$v = 14,27. (0.29)$ $v = 4,14 \text{ m/s}$
2.	$v = 19,20. (0.25)$ $v = 4,8 \text{ m/s}$	$v = 16,46. (0.27)$ $v = 4,44 \text{ m/s}$	$v = 17,75. (0.26)$ $v = 4,62 \text{ m/s}$
3.	$v = 17,75. (0.26)$ $v = 4,62 \text{ m/s}$	$v = 15,30. (0.28)$ $v = 4,28 \text{ m/s}$	$v = 17,75. (0.26)$ $v = 4,62 \text{ m/s}$
4.	$v = 15,30. (0.28)$ $v = 4,28 \text{ m/s}$	$v = 16,46. (0.27)$ $v = 4,44 \text{ m/s}$	$v = 16,46. (0.27)$ $v = 4,44 \text{ m/s}$
5.	$v = 15,30. (0.28)$ $v = 4,28 \text{ m/s}$	$v = 17,75. (0.26)$ $v = 4,62 \text{ m/s}$	$v = 15,30. (0.28)$ $v = 4,28 \text{ m/s}$

Tabel 6. Perhitungan Kecepatan Benda Pada Ketinggian 30 cm

No.	<u>Bola pingpong</u>	<u>Kelereng besar</u>	<u>Kelereng kecil</u>
1.	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$
2.	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$	$v = 23,43. (0.16)$ $v = 3,74 \text{ m/s}$	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$
3.	$v = 30,61. (0.14)$ $v = 4,29 \text{ m/s}$	$v = 23,43. (0.16)$ $v = 3,74 \text{ m/s}$	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$
4.	$v = 23,43. (0.16)$ $v = 3,74 \text{ m/s}$	$v = 30,61. (0.14)$ $v = 4,29 \text{ m/s}$	$v = 23,43. (0.16)$ $v = 3,74 \text{ m/s}$
5.	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$	$v = 26,67. (0.15)$ $v = 4,00 \text{ m/s}$

Apabila dilakukan perbandingan antara data yang diperoleh dari percobaan manual dengan data yang diperoleh dari percobaan menggunakan alat gerak jatuh bebas, maka didapati bahwa data yang diperoleh dari percobaan menggunakan alat lebih mendekati nilai normal. Hal ini disebabkan oleh adanya Arduino Uno, sensor, *relay*, dan *push button* pada alat tersebut. Ketika benda melewati sensor, sensor akan langsung mendeteksi dan mikrokontroler pada Arduino Uno akan memproses pemrograman sesuai dengan isi *coding* nya tanpa perlu melakukan perhitungan manual. Sementara itu, pada percobaan manual, praktikan hanya mengukur waktu tempuh benda saat mengalami jatuh bebas dari ketinggian 60 cm dan 30 cm menggunakan *stopwatch*, dan kemudian melakukan perhitungan manual untuk mengetahui nilai percepatan gravitasi benda dan nilai kecepatan.

4. KESIMPULAN

Rancang bangun alat gerak jatuh bebas yang dibuat dapat melakukan perhitungan waktu tempuh benda jatuh, kecepatan, dan nilai percepatan gravitasi benda. Data yang didapatkan pada percobaan menggunakan alat, jauh lebih akurat daripada data yang didapatkan dari percobaan secara manual dengan menggunakan *stopwatch*. Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, didapatkan nilai rata-rata gravitasi pada percobaan dengan alat, pada ketinggian 60cm yaitu (9,99; 10,00; dan 10,24)m/s², dan pada ketinggian 30cm yaitu (10,62; 10,62; 10,62) m/s². Nilai rata-rata gravitasi pada percobaan manual pada ketinggian 60cm yaitu (16,37; 16,25; 16,30)m/s², dan pada ketinggian 30cm yaitu (26,81; 26,16; 26,02)m/s². Alat ini dapat dikembangkan kembali dengan mengganti catu daya dari adaptor menjadi baterai. Selain itu, *output* alat ini dapat dirancang dengan menggunakan tampilan PC dan ketinggian benda dapat diatur menggunakan motor dc.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada editor dan reviewer untuk semua saran, masukan dan bantuan dalam proses penerbitan naskah. Ucapan terima kasih juga kami tujukan kepada pihak-pihak yang telah mendukung penelitian dan memberikan bantuan moril dan material.

REFERENSI

- [1] D. Yohanna, Hufri, and Yohandri, "PILLAR OF PHYSICS, Vol. 5. April 2015, 89-96," *Pembuatan Set Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Berbas. Mikrokontroler Dengan Tampilan Pc*, vol. 5, no. April, pp. 89–96, 2015.
- [2] M. C. Kause, "Rancang Bangun Alat Peraga Fisika Berbasis Arduino (Studi Kasus Gerak Jatuh Bebas)," *CYCLOTRON*, vol. 2, no. 1, 2019, doi: 10.30651/cl.v2i1.2511.
- [3] F. M. Bara, "Analisis Percepatan Gravitasi Menggunakan Aplikasi Phyphox Pada Gerak Jatuh Bebas," *J. Lumin. Ris. Ilm. Pendidik. Fis.*, vol. 2, no. 2, p. 11, 2021, doi: 10.31851/luminous.v2i2.5923.
- [4] H. Rosdianto, "Rancang Bangun Alat Praktikum Gerak Jatuh Bebas Dengan Stopwatch Otomatis Sederhana," *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidik. Fis.)*, vol. 3, no. 1, 2018, doi: 10.26737/jipf.v3i1.347.
- [5] A. MUSLIM, "RANCANG BANGUN ALAT BANTU PEMBELAJARAN GERAK JATUH BEBAS BERBASIS TIMER ARDUINO," *J. Mater. dan Energi Indones.*, vol. 11, no. 01, 2021, doi: 10.24198/jme.v11i01.39494.
- [6] M. KHAFIDZ HAMDANI and S. SUPARDIYONO, "Rancang Bangun Alat Praktikum Gerak Jatuh Bebas Digital Berbasis Sensor Inframerah," *IPF Inov. Pendidik. Fis.*, vol. 9, no. 3, 2020, doi: 10.26740/ipf.v9n3.p410-416.
- [7] O. A. Atani, L. A. S. Lapono, and A. C. Louk, "RANCANG BANGUN ALAT PERAGA PRAKTIKUM GERAK JATUH BEBAS," *J. Fis. Fis. Sains dan Apl.*, vol. 4, no. 1, 2019, doi: 10.35508/fisa.v4i1.1435.
- [8] Leni and Suripah, "Jurnal Pendidikan MIPA," *J. Pendidik. MIPA*, vol. 12, no. September, pp. 682–689, 2022.
- [9] R. Nuruddin, J. Handika, and M. Sasono, "Pengembangan Media Pembelajaran Gerak Jatuh Bebas Berbasis Mikrokontroler Terintegrasi Komputer," *Semin. Nas. Pendidik. Fis. VI*, pp. 1–4, 2020, [Online]. Available: <http://prosiding.unipma.ac.id/index.php/SNPF/index>
- [10] N. Yuningsih and Sardjito, "Gerak Vertikal Benda Berukuran Berbeda yang Jatuh Tanpa Kecepatan Awal dan Bergesekan dengan Udara," *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, pp. 710–714, 2020.
- [11] A. Phyphox and M. Pembelajaran, "CHARM SAINS Volume 3 No 3 Hal . 176-181 JURNAL PENDIDIKAN FISIKA E-ISSN 2722-5860 31 Oktober 2022 EFEKTIVITAS EKSPERIMEN PADA PEGAS MENGGUNAKAN APLIKASI CHARM SAINS," vol. 3, no. 3, pp. 176–181, 2022.
- [12] A. Ristiawan, "Analisis Gerak Jatuh Bebas Dengan Metode Video Based Laboratory (Vbl) Menggunakan Software Tracker," *J. Teach. Learn. Phys.*, vol. 3, no. 2, pp. 26–30, 2018, doi: 10.15575/jotalp.v3i2.6556.
- [13] E. D. Damayanti, A. Fitrianti, D. Rusdiana, and I. R. Suwama, "Respon Siswa Terhadap Pengembangan Alat Praktikum Digital Gerak Jatuh Bebas Sebagai Media Pembelajaran Fisika," *J. Ikat. Alumni Fis. Univ. Negeri Medan*, vol. 8, no. 1, pp. 12–17, 2022.
- [14] J. Pendidikan, S. Humairoh, M. Yakob, N. A. Lubis, and R. A. Putra, "Perancangan Alat Praktikum Berbasis Arduino Untuk Menentukan Waktu Dan Kecepatan Secara Otomatis Pada Gerak Jatuh Bebas Berdasarkan penelitian Zul Azhar (2018) dengan judul " Pembuatan Alat Angket yang diperoleh dari siswa pada penggunaan alat praktikum," no. 4, pp. 23–32, 2021.
- [15] S. Yohanes, G. Toda, M. Yuliana, M. Tati, Y. C. Bhoga, and R. B. Astro, "t terlihat kecepatan berubah secara linear sehingga dapat dikatakan benda mengalami gerak lurus berubah beraturan. Faktor percepatan dipengaruhi oleh gaya gravitasi dan diasumsikan tidak ada hambatan udara. Dengan melakukan regresi linear terhadap grafik," vol. 4, no. 1, pp. 30–37, 2020.

- [16] N. Nurhayati, R. D. Ayu A, and S. Aslamiyah, "Penentuan Nilai Percepatan Gravitasi Bumi dengan Model Gerak Jatuh Bebas di Laboratorium Fisika UIN Ar-Raniry Banda Aceh," *J. Phi J. Pendidik. Fis. dan Fis. Terap.*, vol. 2, no. 1, p. 15, 2021, doi: 10.22373/p-jpft.v2i1.8347.