



<https://jurnal.univpgri-palembang.ac.id/index.php/luminous>

PERANCANGAN ALAT PRAKTIKUM PERCEPATAN GRAVITASI DIGITAL MENGGUNAKAN SENSOR FC-51 BERBASIS ARDUINO UNO

Alfano Riky Tampenawas¹, Brenda Nyanyi^{2*}, Marianus³, Jeane Verra Tumangkeng⁴, dan
Ishak Pawarangan⁵

^{1,2,3,4,5}Pendidikan Fisika, Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, dan Kebumihan, Universitas Negeri Manado,
Manado

Jl. Kampus Unima, Tonsaru, Kec. Tondano Selatan, Kabupaten Minahasa, Sulawesi Utara, Indonesia

*Email: 22505016@unima.ac.id

Received: 21 05 2025. Accepted: 31 07 2025. Published: 07 2025

Abstrak

Keterbatasan alat praktikum fisika di sekolah di Indonesia, khususnya pada materi gerak jatuh bebas dan percepatan gravitasi, menyebabkan keterbatasan pemahaman konseptual peserta didik terhadap fenomena tersebut. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan alat praktikum percepatan gravitasi menggunakan Arduino Uno dengan sensor inframerah FC-51. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan tahapan perencanaan, perakitan, dan pengujian alat. Sensor FC-51 digunakan untuk mendeteksi waktu tempuh jatuh bebas benda uji, kemudian nilai percepatan gravitasi dihitung menggunakan pemrograman pada mikrokontroler Arduino. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mengukur waktu dengan akurasi tinggi dan menghitung percepatan gravitasi dengan ketepatan antara 96,51% hingga 99,76% terhadap nilai teoritis. Grafik regresi antara hasil pengukuran alat dan nilai teoritis menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat dengan persamaan regresi $y = 1,058x - 0,4288$ dan koefisien determinasi $R^2 = 0,983$. Hal ini menunjukkan bahwa alat berfungsi secara valid dan akurat. Penelitian ini membuktikan bahwa alat praktikum digital berbasis Arduino dapat digunakan sebagai media pembelajaran fisika yang efektif, praktis, dan edukatif dalam memperagakan konsep percepatan gravitasi.

Kata Kunci: Percepatan gravitasi, Arduino Uno, Sensor FC-51, Alat praktikum, Gerak jatuh bebas

Abstract

The limited number of physics practicum tools in schools in Indonesia, especially in the material of free fall motion and gravitational acceleration, causes limited conceptual understanding of students of these phenomena. This research aims to design and develop a gravity acceleration lab tool using Arduino Uno with FC-51 infrared sensor. The method used is *Research and Development* (R&D) with the stages of planning, assembly, and testing of tools. The FC-51 sensor is used to detect the free fall travel time of the test object, then the gravitational acceleration value

is calculated using programming on the Arduino microcontroller. The test results show that the device is able to measure time with high accuracy and calculate the acceleration of gravity with accuracy between 96.51% to 99.76% of the theoretical value. The regression graph between the measurement results of the device and the theoretical value shows a very strong linear relationship with the regression equation $y = 1.058x - 0.4288$ and the coefficient of determination $R^2 = 0.983$. This shows that the tool functions validly and accurately. This research proves that the Arduino-based digital lab tool can be used as an effective, practical, and educative physics learning media in demonstrating the concept of gravitational acceleration.

Keywords : Gravitational acceleration, Arduino Uno, FC-51 Sensor, Practical tool, Free fall motion

© 2025 Pendidikan Fisika FKIP UPGRi Palembang

PENDAHULUAN

Pembelajaran merupakan proses mendasar dalam dunia pendidikan yang bertujuan untuk mentransfer pengetahuan, keterampilan, dan nilai-nilai kepada peserta didik agar mampu berpikir kritis, kreatif, dan mampu menghadapi berbagai permasalahan dalam kehidupan nyata Pare & Sihotang, 2023). Dalam pembelajaran siswa tidak hanya dituntut memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu mengaitkan antara teori dengan fenomena yang terjadi di sekitarnya (Istiqamah et al., 2024; Puspita et al., 2024). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan pembelajaran yang melibatkan siswa secara aktif dan kontekstual agar pengetahuan yang diperoleh menjadi lebih bermakna.

Salah satu bidang studi yang erat kaitannya dengan penerapan konsep dalam kehidupan sehari-hari adalah fisika. Fisika tidak hanya mempelajari hukum-hukum alam secara abstrak, tetapi juga berupaya menjelaskan bagaimana alam semesta bekerja melalui observasi, eksperimen, dan pemodelan matematika (Walker et al., 2014; Wea et al., 2021; Wilcox & Lewandowski, 2017). Konsep-konsep fisika seperti gerak, gaya, energi, dan gelombang merupakan dasar dari berbagai fenomena alam dan teknologi yang kita gunakan sehari-hari (Kholifatun Nisa et al., 2024; Walker et al., 2014). Oleh karena itu, penguasaan materi

fisika sangat penting dalam membentuk pola pikir ilmiah dan keterampilan pemecahan masalah peserta didik. Misalnya dalam kehidupan sehari-hari, pemahaman tentang konsep kecepatan gravitasi diperlukan untuk menjelaskan mengapa benda jatuh memiliki kecepatan yang bertambah, seperti ketika menjatuhkan bola dari ketinggian. Tanpa memahami konsep ini, siswa akan sulit memahami fenomena gerak jatuh bebas yang sering diamati dalam kehidupan sehari-hari.

Pembelajaran fisika melalui praktikum laboratorium sangat penting karena dapat meningkatkan pemahaman konseptual peserta didik melalui pengalaman langsung. Kegiatan praktikum di laboratorium terbukti efektif sebagai metode pembelajaran fisika (Antwi et al., 2021; Ilomuanya et al., 2024; Uskenat et al., 2024). Namun demikian, banyak sekolah di Indonesia masih menghadapi kendala ketersediaan sarana praktikum (Andini, 2022; Anggereni et al., 2021). Peralatan praktikum fisika, khususnya untuk materi gerak jatuh bebas (GJB), umumnya masih sederhana, terbatas dan tidak terlalu memadai untuk digunakan dalam praktikum. Misalnya, pengukuran percepatan gravitasi sering kali hanya menggunakan *stopwatch* manual dan alat bandul sederhana manual (Uskenat et al., 2024). Kondisi ini menyebabkan praktikum GJB masih dilakukan secara manual dan berpotensi menghasilkan kesalahan pengukuran (sulit menekan *on/off*

stopwatch tepat waktu) yang menyebabkan praktikum sulit untuk terlaksana sehingga menyebabkan pemahaman konseptual yang tidak bisa dibuktikan secara konkret pada peserta didik (Khasanah et al., 2023). Oleh karena itu, untuk mengatasi situasi ini diperlukan pengembangan alat praktikum percepatan gravitasi secara digital dalam menjelaskan gerak jatuh bebas yang dapat dimanfaatkan oleh guru dan peserta didik.

Opsi dalam mengembangkan alat praktikum digital pada perkembangan teknologi menjadi sangat beragam, penggunaan mikrokontroler menjadi pilihan yang sangat cocok dikarenakan komponen-komponen yang mudah untuk didapatkan dan variatif (Restianingsih et al., 2023; Zadorozhnii, 2024). Sehingga terdapat kemungkinan yang tak terbatas dalam mengembangkan alat praktikum fisika yang dapat digunakan dalam pembelajaran maupun praktikum. Beberapa pengembangan alat praktikum digital berbasis arduino uno yang telah berhasil dikembangkan adalah perancangan alat praktikum menentukan percepatan gravitasi dengan Arduino Nano (Khasanah et al., 2023), kemudian ada pengembangan alat penentu indeks bias zat cair yang memanfaatkan sensor *ultrasonik* HC-SR04 berbasis arduino Uno (Andriyan et al., 2021), dan perancangan alat praktikum gerak jatuh bebas dengan memanfaatkan sensor fotodiode berbasis arduino uno (Atani et al., 2019). Inovasi yang telah dilakukan oleh pengembangan terdahulu menunjukkan potensi besar dalam pengembangan alat praktikum yang dapat memperkaya pengalaman belajar peserta didik.

Gerak jatuh bebas (GJB) merupakan salah satu bentuk Gerak Lurus Berubah Beraturan (GLBB) dengan percepatan tetap dan kecepatan awal nol. Dalam kondisi ideal, yakni tanpa pengaruh hambatan udara, suatu

benda yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu akan mengalami percepatan yang konstan ke arah pusat Bumi, yang dikenal sebagai percepatan gravitasi (Rifaldi et al., 2022; Walker et al., 2014). Besarnya percepatan gravitasi di permukaan Bumi rata-rata adalah $9,8 \text{ m/s}^2$, meskipun nilainya dapat sedikit berbeda tergantung lokasi geografis dan ketinggian tempat (Medellu et al., 2023; Muhammad Subhan et al., 2022).

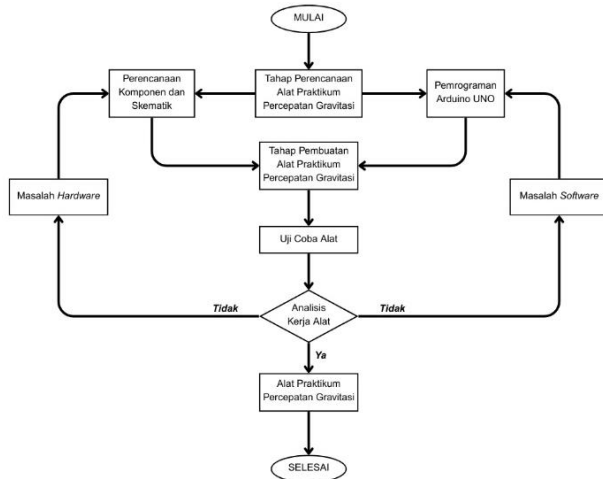
Berdasarkan kajian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan alat praktikum digital percepatan gravitasi menggunakan platform Arduino UNO dan sensor FC-51. Diharapkan dengan pengembangan alat ini dapat digunakan sebagai media pembelajaran yang memadai dan digital untuk mendukung proses pembelajaran.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D), yang bertujuan untuk merencanakan, merakit, dan menguji alat praktikum percepatan gravitasi berbasis mikrokontroler arduino uno. metode R&D mencakup serangkaian langkah sistematis untuk mengembangkan dan memvalidasi suatu produk pendidikan melalui proses penelitian dan pengembangan yang berkelanjutan (Laws et al., 2024; Sugiyono, 2019). Pemilihan metode R&D didasarkan pada kebutuhan untuk menghasilkan produk berupa alat edukatif yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran fisika, khususnya pada materi gerak jatuh bebas.

Diagram alir penelitian merupakan representasi visual dari tahapan-tahapan yang dilakukan dalam proses penelitian, yang disusun secara sistematis dan logis (Grout, 2008). Diagram ini bertujuan untuk mempermudah pemahaman terhadap alur kerja penelitian, mulai dari identifikasi masalah

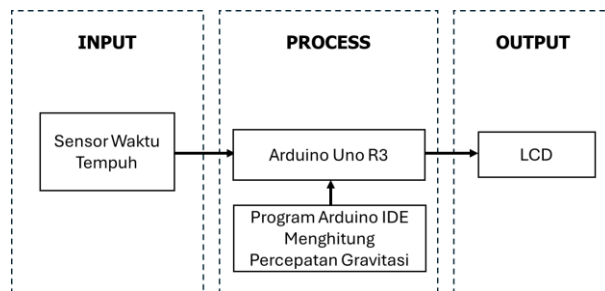
hingga evaluasi hasil (Chaudhuri, 2020). Dalam penelitian ini, diagram alir digunakan untuk menggambarkan tahapan-tahapan dalam perancangan dan pengujian alat praktikum percepatan gravitasi berbasis sensor FC-51 dan Arduino Uno. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Perancangan Alat Praktikum Percepatan Gravitasi Digital

Berdasarkan diagram alir pada Gambar 1 dan metode R&D yang digunakan, maka terdapat beberapa tahapan utama yang dilaksanakan dalam penelitian ini. Tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut.

Tahap pertama adalah perencanaan atau perancangan alat. Pada tahap ini dilakukan penyusunan skema blok sistem berdasarkan kebutuhan fungsional dari setiap komponen yang digunakan. Rencana skema blok sistem dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Rencana Skema Blok Alat Praktikum Percepatan Gravitasi Digital

Perancangan mencakup penentuan posisi dan fungsi sensor serta penempatan Arduino Uno sebagai pusat kendali dan pengolahan data. Desain juga mencakup perencanaan logika program yang ditulis dalam bahasa C/C++ menggunakan Arduino IDE, termasuk penentuan pin-pin Arduino yang terhubung ke sensor, LCD, serta tombol kontrol (jika ada). Perancangan visual dari rangkaian elektronik dilakukan menggunakan perangkat lunak pendukung yaitu *Proteus 8* untuk membantu proses perakitan.

Tahap kedua adalah pembuatan alat. Pada tahap ini dilakukan perakitan semua komponen elektronik seperti Arduino Uno, sensor FC-51, dan LCD LiquidCrystal 16x2 pada *breadboard* sesuai dengan skema yang telah dirancang. Setelah rangkaian fisik selesai dirakit, dilakukan pemrograman Arduino untuk mengolah data dari sensor FC-51 berupa waktu jatuh benda. Data waktu tersebut kemudian digunakan untuk menghitung percepatan gravitasi dan ditampilkan secara langsung pada LCD. Pemrograman juga melibatkan proses kalibrasi sensor untuk memastikan pembacaan waktu yang akurat dan stabil.

Tahap terakhir adalah pengujian alat. Pengujian dilakukan dengan menjatuhkan benda dari ketinggian tetap dan mengamati pembacaan waktu yang dihasilkan oleh sensor FC-51. Waktu tempuh jatuh benda kemudian digunakan untuk menghitung percepatan gravitasi secara otomatis oleh sistem, dan hasilnya dibandingkan dengan perhitungan manual menggunakan rumus percepatan pada gerak jatuh bebas yang secara matematis dinyatakan oleh Persamaan 1.

$$a = \frac{v}{t} \tag{1}$$

dimana v adalah kecepatan dari benda jatuh dalam m/s , t adalah waktu tempuh objek dalam s , dan a adalah percepatan jatuh benda

atau percepatan gravitasi yang mau dicari dalam m/s^2 .

Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali untuk melihat konsistensi data dan keakuratan alat. Tahap selanjutnya adalah melakukan analisis kuantitatif terhadap data hasil pengukuran dengan menghitung taraf kesalahan dan koefisien determinasi (R^2) untuk mengevaluasi tingkat akurasi dan kelayakan alat yang telah dikembangkan. Taraf kesalahan atau galat merupakan selisih antara hasil pengukuran oleh alat dengan nilai acuan atau hasil perhitungan manual, yang menunjukkan sejauh mana pengukuran menyimpang dari nilai sebenarnya. Semakin kecil nilai galat, maka semakin tinggi tingkat ketelitian alat (Morris, 2001; Wulansari, 2021). Secara matematis ditunjukkan oleh Persamaan 2.

$$galat = \frac{|nilai\ perkiraan - nilai\ eksak|}{nilai\ eksak} \quad (2)$$

Sementara itu, koefisien determinasi R^2 digunakan untuk mengukur tingkat hubungan antara data hasil pengukuran alat dengan data referensi, di mana nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan konsistensi dan keterandalan alat dalam menghasilkan data yang linier dan dapat dipercaya (Romeo, 2019). Analisis ini menjadi dasar dalam menilai apakah alat praktikum percepatan gravitasi yang dirancang layak digunakan sebagai media pembelajaran.

HASIL DAN PEMBAHASAN

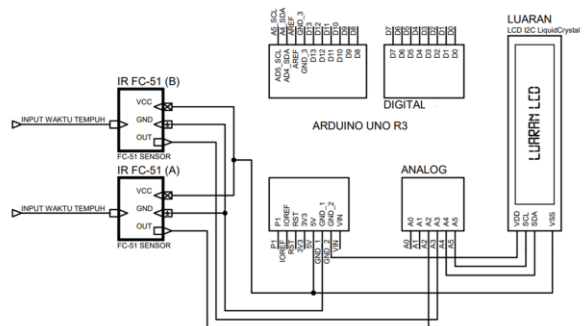
Beberapa penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan sensor inframerah dalam alat praktikum fisika, dapat meningkatkan akurasi, efisiensi, dan daya tarik pembelajaran. (Mas'ud, 2020) menemukan bahwa alat berbasis sensor inframerah yang dikendalikan Arduino dapat mengukur waktu jatuh bebas dengan lebih akurat daripada cara

manual. Penelitian lainnya oleh (Peng, Zhang, dan Liu, 2021) menemukan bahwa kualitas praktikum dan validitas data hasil pengukuran dapat ditingkatkan dengan sistem eksperimen fisika digital berbasis Arduino. Selain itu, (Pare & Sihotang, 2023) menunjukkan bahwa memasukkan sensor digital ke dalam alat ukur fisika di sekolah menengah tidak hanya menghasilkan data yang akurat tetapi juga membuat siswa lebih memahami konsep. Temuan-temuan tersebut digunakan sebagai dasar untuk mengembangkan instrumen yang digunakan dalam praktikum akselerasi gravitasi dalam penelitian ini. Alat ini dimaksudkan untuk mengukur waktu dengan tepat dan menghitung akselerasi gravitasi secara otomatis dengan memanfaatkan sensor inframerah FC-51 dan mikrokontroler Arduino Uno.

Hasil penelitian dan perancangan alat praktikum percepatan gravitasi dijelaskan dengan tahapan-tahapan R&D yaitu perencanaan, pembuatan, dan pengujian.

Perencanaan Alat

Tahap perencanaan terdiri dari perencana skematik dan komponen alat serta pemrogram arduino Uno, untuk perencana skematik menggunakan *proteus 8* dan telah menghasilkan desain alat praktikum percepatan gravitasi. Desain alat secara skematik dapat dilihat pada Gambar 3.



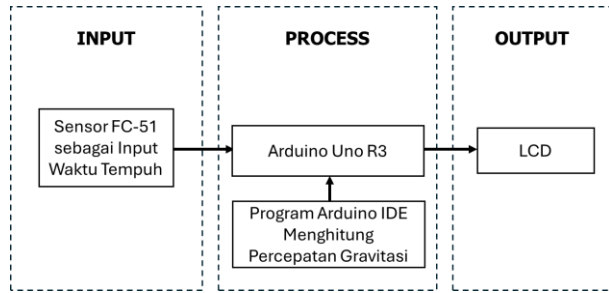
Gambar 3. Desain Alat Praktikum Percepatan Gravitasi Digital Menggunakan *Proteus 8*

Komponen-komponen dari alat praktikum percepatan gravitasi ini terdiri dari Arduino Uno R3 sebagai pengendali utama yang mengatur proses pembacaan, perhitungan waktu tempuh benda jatuh, dan bertugas mengolah data. Dua buah sensor inframerah FC-51 (ditandai sebagai IR FC-51 (A) dan IR FC-51 (B)) berfungsi untuk mendeteksi saat benda melewati dua titik tertentu, sehingga alat dapat mengukur waktu tempuh antar titik tersebut secara otomatis. Output dari kedua sensor ini terhubung ke pin digital Arduino untuk dikonversi menjadi data waktu secara elektronik. Selain itu, alat ini menggunakan LCD I2C LiquidCrystal 16x2 sebagai penampil luaran, yaitu menampilkan hasil waktu tempuh dan nilai percepatan gravitasi secara langsung. Komponen-komponen yang dihubungkan ke pin-pin arduino dijelaskan oleh Tabel 1.

Tabel 1. Komponen-komponen Alat

Nama Komponen	Pin Komponen	Pin Arduino
Sensor IR FC-51 (A)	VCC	5V
	GND	GND
	OUT	A2
Sensor IR FC-51 (B)	VCC	5V
	GND	GND
	OUT	A3
LCD LiquidCrystal 16x2 dengan I2C	VSS/VCC	5V
	VDD/GND	GND
	SDA	A4/SDA
	SCL	A5/SCL

Selanjutnya, skema blok alat praktikum percepatan gravitasi yang direncanakan ditunjukkan oleh Gambar 4.



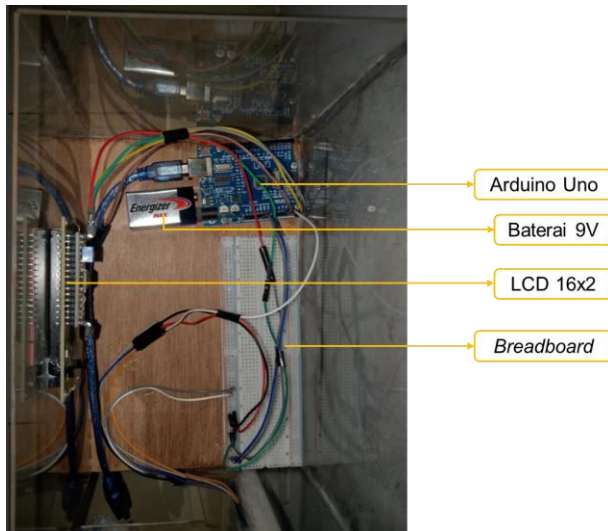
Gambar 4. Skema Blok Fungsi Alat Praktikum Percepatan Gravitasi Digital

Perakitan Alat

Setelah alat praktikum percepatan gravitasi selesai direncanakan, lalu dilanjutkan ditahap perakitan alat yang dilakukan dengan menyusun dan merakit seluruh komponen-komponen yang diperlukan sesuai dengan perencanaan yang telah dibuat. Alat praktikum percepatan gravitasi yang telah dirakit secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5 dan komponen-komponen di dalam pelindung dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 5. Hasil Keseluruhan Perakitan Alat Praktikum Percepatan Gravitasi Digital



Gambar 6. Komponen Pelindung Alat Praktikum Percepatan Gravitasi Digital

Gambar 5 menunjukkan tampilan keseluruhan alat praktikum percepatan gravitasi yang telah berhasil dirakit. Struktur utama alat terdiri dari lintasan vertikal setinggi 50 cm yang berfungsi sebagai jalur jatuh bebas bagi benda uji. Dua buah sensor FC-51 dipasang pada bagian atas dan bawah lintasan untuk mendeteksi waktu tempuh benda saat melewati masing-masing titik. Hasil pembacaan waktu dan hasil perhitungan percepatan gravitasi ditampilkan secara langsung pada LCD 16x2 yang terpasang pada bagian depan alat. Seluruh komponen utama terlindungi oleh lapisan akrilik transparan yang berfungsi sebagai pelindung alat dari gangguan luar sekaligus menjaga keamanan rangkaian selama digunakan dalam kegiatan praktikum.

Sementara itu, Gambar 6 memperlihatkan bagian dalam dari pelindung akrilik yang berisi susunan komponen elektronik utama. Komponen yang tampak antara lain adalah papan mikrokontroler Arduino Uno R3 sebagai pengendali utama sistem, baterai 9V sebagai sumber daya listrik portabel, *breadboard* sebagai tempat perakitan

jalur koneksi sementara tanpa penyolderan, serta LCD 16x2 untuk menampilkan luaran alat. Semua komponen tersebut dirangkai dan disusun secara terstruktur di atas papan kayu agar lebih stabil dan mudah dipindahkan.

Pengujian Alat

Tahap selanjutnya adalah pengujian alat. Pada tahap ini dilakukan uji coba untuk mendapatkan data yang berkaitan dengan kinerja dari alat. Hasil yang didapatkan akan menjadi penentu bagaimana proses kalibrasi yang harus dilakukan untuk memastikan bahwa alat bekerja dengan baik dan akurat.

Hasil data yang diperoleh melalui pengujian merupakan perbandingan dari luaran percepatan gravitasi pada alat g_{out} terhadap perhitungan percepatan gravitasi secara teoritis (g_{teori}) dengan menggunakan Persamaan 1. Data diambil sebanyak 10 kali dengan melepaskan benda pada ketinggian tertentu dengan jarak antar sensor FC-51 sebesar 50 cm. Hasil data yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 2.

Hasil pengukuran percepatan gravitasi yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan menunjukkan bahwa alat bekerja secara konsisten dan cukup akurat

TABEL 2. Data Pengujian Pengukuran Percepatan Gravitasi Digital

No	t (s)	v (m/s)	g_{out} (m/s ²)	g_{teori} (m/s ²)	V (%)
1	0,25	2,00	8,3	8,40	98,81
2	0,27	1,80	6,6	6,67	99,00
3	0,25	2,00	8,3	8,28	99,76
4	0,29	1,79	6,6	6,38	96,51
5	0,25	2,00	8,1	8,32	97,36
6	0,23	2,10	9,1	9,13	99,67
7	0,25	2,00	8,1	8,00	98,75
8	0,23	2,10	9,1	9,13	99,67
9	0,25	2,00	7,9	8,00	98,75
10	0,24	2,11	8,6	8,79	97,82

Rentang ketepatan pengukuran alat berada antara 96,51% hingga 99,76%, yang menandakan bahwa nilai percepatan gravitasi luaran (g_{out}) Hasil pengukuran percepatan gravitasi yang dilakukan sebanyak 10 kali percobaan menunjukkan bahwa alat bekerja secara konsisten dan cukup akurat. Rentang ketepatan pengukuran alat berada antara 96,51% hingga 99,76%, yang menandakan bahwa nilai percepatan gravitasi luaran (g_{out}) yang dihasilkan oleh alat mendekati nilai teoritis (g_{teori}).

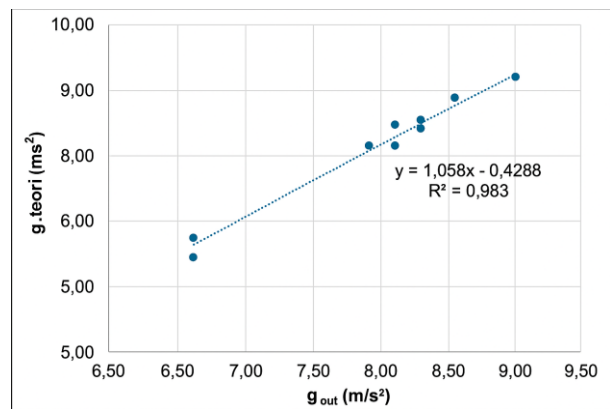
Nilai g_{out} tertinggi tercatat sebesar 9,1 m/s² dan terendah sebesar 6,6 m/s², sedangkan nilai teoritis yang digunakan dalam pengujian bervariasi antara 6,38 m/s² hingga 9,13 m/s² sesuai dengan data kecepatan dan waktu pada masing-masing percobaan.

Ketepatan tertinggi diperoleh pada percobaan ke-3 dengan persentase galat hanya 0,24%, menunjukkan bahwa hasil pengukuran alat sangat dekat dengan nilai teoritis. Adapun akurasi terendah ditemukan pada percobaan ke-4 dengan nilai ketepatan 3,49%, namun nilai ini masih tergolong sangat

baik dan tidak menyimpang secara signifikan dari nilai acuan. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi kecil akibat fluktuasi waktu pengukuran atau toleransi sensor, alat tetap mampu memberikan hasil yang akurat dalam mengukur percepatan gravitasi.

Seluruh hasil luaran ditampilkan dalam dua digit desimal, begitu pula dengan nilai teoritisnya, sehingga kemungkinan terdapat ketidaktepatan sekitar ±0,01 m/s² dalam pembacaan maupun dalam perhitungan ketepatan. Data pada Tabel menunjukkan bahwa alat bekerja secara fungsional, presisi, dan siap diterapkan dalam kegiatan praktikum. Dengan mempertimbangkan hal tersebut, alat yang telah dikembangkan dapat dikategorikan layak dan dapat diandalkan sebagai media pembelajaran konsep gerak jatuh bebas dan percepatan gravitasi yang sejalan.

Hubungan regresi linear antara luaran percepatan gravitasi terhadap nilai teoritis didapatkan grafik yang ditunjukkan oleh Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Pengujian Alat dengan Mengamati Luar Percepatan Gravitasi Digital terhadap Perhitungan secara Teoritis

Pada Gambar 6 ditunjukkan bahwa grafik menghasilkan korelasi linier yang sangat baik antara nilai percepatan gravitasi yang diukur oleh alat (g_{out}) dan nilai teoritis (g_{teori}). Regresi linier terhadap data tersebut

menghasilkan persamaan $y = 1,058x - 0,4288$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,983$. Nilai *slope* sebesar 1,058 yang mendekati 1 dan nilai *intersep* $-0,4288$ yang relatif kecil menunjukkan bahwa luaran alat sangat sebanding dengan nilai teoritis. Nilai R^2 yang mendekati 1 menunjukkan bahwa hampir seluruh variasi nilai g_{out} dapat dijelaskan oleh g_{teori} , sehingga model regresi sangat tepat dan valid. Dalam konteks evaluasi sistem pengukuran, nilai $R^2 \geq 0,9$ mengindikasikan hubungan linier yang sangat kuat dan mendukung klaim validitas alat ukur (Cheng et al., 2014; Sugiyono, 2019).

Dengan demikian, grafik regresi dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa nilai percepatan gravitasi yang dihasilkan alat sangat sesuai dengan nilai teoritis. Hal ini mendukung kesimpulan bahwa alat praktikum percepatan gravitasi yang dikembangkan valid secara fungsional, akurat, dan layak digunakan sebagai media pembelajaran fisika, terutama dalam memahami konsep gerak jatuh bebas dan percepatan gravitasi. Namun, perangkat ini masih memiliki sensitivitas sensor yang terbatas terhadap perubahan waktu pengukuran dan toleransi pembacaan dalam rentang $\pm 0,01 \text{ m / s}^2$, yang dapat memengaruhi tekanan pada kondisi relevan. Meskipun demikian, variasi ini variasi kecil dan tidak sepenuhnya memengaruhi akurasi, oleh karena itu masih merupakan alat yang sangat efektif dalam praktik pendidikan.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat praktikum percepatan gravitasi berbasis Arduino Uno dengan sensor FC-51 telah berhasil dirancang dan berfungsi dengan baik. Alat ini mampu mengukur waktu tempuh jatuh

benda secara otomatis dan menghitung percepatan gravitasi melalui pemrosesan data berbasis mikrokontroler. Pengujian dilakukan sebanyak 10 kali dan menunjukkan rentang tingkat ketepatan antara 96,51% hingga 99,76%, dengan rata-rata galat relatif kecil. Hasil regresi linier antara nilai percepatan gravitasi yang diukur alat dan nilai teoritis menghasilkan persamaan $y = 1,058x - 0,4288$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,983$, yang mengindikasikan bahwa alat bekerja secara konsisten dan valid secara fungsional.

Alat ini telah menunjukkan potensi sebagai media pembelajaran fisika yang efektif untuk mengamati fenomena gerak jatuh bebas secara digital. Desain alat yang kompak, berbasis sensor otomatis, dan menampilkan hasil pengukuran secara langsung melalui LCD 16x2, membuatnya layak digunakan dalam praktikum di lingkungan sekolah maupun perguruan tinggi. Secara keseluruhan, alat ini dapat mendukung proses pembelajaran fisika dengan pendekatan praktis dan berbasis teknologi.

Untuk pengembangan ke depan, disarankan dilakukan peningkatan presisi sensor atau pemanfaatan sensor optik sebagai alternatif untuk meminimalkan fluktuasi pembacaan waktu. Kalibrasi alat yang lebih teliti, pengujian pada berbagai variasi ketinggian, serta validasi pada lingkungan yang berbeda akan memperluas cakupan aplikasi dan meningkatkan reliabilitas alat dalam praktik pembelajaran.

DAFTAR PUSTAKA

- Andini, R. (2022). Identifikasi Hambatan Pelaksanaan Praktikum Fisika dan Alternatif Solusinya di SMA Negeri 1 Pundong. In E. N. Sulistiyo (Ed.), *Seminar Nasional Hasil Pelaksanaan Program Pengenalan Lapangan Persekolahan* (pp. 373–381). Universitas Ahmad Dahlan.

- Andriyan, M., Harijanto, A., & Prastowo, H. B. (2021). Rancang Bangun Alat Praktikum Penentuan Indeks Bias Zat Cair Berbantuan Arduino dan Sensor Jarak HC-SR04. *JURNAL PENDIDIKAN FISIKA UNDIKSHA*, 11(2). <https://doi.org/10.23887/jjpf.v11i2.37032>
- Anggereni, S., Suhardiman, S., & Amaliah, R. (2021). Analisis Ketersediaan Peralatan, Bahan Ajar, Administrasi Laboratorium, Keterlaksanaan Kegiatan Praktikum di Laboratorium Fisika. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 414. <https://doi.org/10.20527/jjpf.v5i3.3925>
- Antwi, V., Sakyi-Hagan, N. A., Addo-Wuwer, F., & Asare, B. (2021). Effect of Practical Work on Physics Learning Effectiveness: A Case of a Senior High School in Ghana. *EAST AFRICAN JOURNAL OF EDUCATION AND SOCIAL SCIENCES*, 2(Issue 3), 43–55. <https://doi.org/10.46606/eajess2021v02i03.0102>
- Atani, O. A., Laponi, L. A. S., & Louk, A. C. (2019). Rancang Bangun Alat Peraga Praktikum Gerak Jatuh Bebas. *Jurnal Fisika: Fisika Sains Dan Aplikasinya*, 4(1), 2657–1900. <https://doi.org/10.35508/fisa.v4i1.1435>
- Chaudhuri, A. B. (2020). Flowchart and Algorithm Basics. In *Flowchart and Algorithm Basics*. <https://doi.org/10.1515/9781683925354>
- Cheng, C. L., Shalabh, & Garg, G. (2014). Coefficient of determination for multiple measurement error models. *Journal of Multivariate Analysis*, 126. <https://doi.org/10.1016/j.jmva.2014.01.006>
- Grout, I. (2008). Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs. In *Digital Systems Design with FPGAs and CPLDs*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-8397-5.X0001-3>
- Ilomuanya, M. D., Ikusika, A., & Aramide, J. O. (2024). Effect of practical teaching approach on physics students' achievement in the concept of reflection and refraction of light. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 16(1), 9–20. <https://doi.org/10.51724/ijpce.v16i1.297>
- Istiqamah, W., Salmia, & Ramadhani, M. S. (2024). Kajian Teori Pembelajaran dalam Implementasi Pembelajaran Tematik di Sekolah Dasar. *Saraweta: Jurnal Pendidikan dan Keguruan*, 2(02), 196–205.
- Khasanah, U. U., Nurfaniyah, M., Sa'diyah, H., Sholikhah, N., Amana, T. C. N., Maryani, & Subiki. (2023). Rancang Bangun Alat Praktikum Menentukan Percepatan Gravitasi pada Gerak Jatuh Berbasis Arduino Nano. *GENTA MULIA: Jurnal Ilmiah Pendidikan*, 14(2), 249–258.
- Kholifatun Nisa, P., Makida, Z., Liana, N., Ketut Mahardika, I., Handono, S., & Fisika, P. (2024). Peran Pembelajaran Fisika dalam Transformasi Sains Dan Teknologi. *Jurnal Fisika Dan Pembelajarannya (PHYDAGOGIC)*, 7(1), 2024–2654. <https://doi.org/10.31605/phy.v7i1.3410>
- Laws, S., Harper, C., Jones, N., & Marcus, R. (2024). Research for Development: A Practical Guide. In *Research for Development: A Practical Guide*. <https://doi.org/10.4135/9781529681406>
- Mas'ud, B. (2020). Understanding The Aspects Of Learning And Learners: A Conceptual Analysis. *Edu Global: Jurnal Pendidikan Islam*, 1(1), 36–43. <https://doi.org/10.56874/eduglobal.v1i1.349>
- Medellu, N. C., Zahran, M., Sari, I. M., & Budi, T. U. (2023). Pengukuran Percepatan

- Gravitasi Bumi di Beberapa Kota di Indonesia dan Turki dengan Menggunakan Tracker. *Jurnal Phi*, 9(2), 1–7. <https://doi.org/10.22373/p-jpft.v9i2.17239>
- Morris, A. S. (2001). Measurement and Instrumentation Principles. *Measurement Science and Technology*, 12(10). <https://doi.org/10.1088/0957-0233/12/10/702>
- Muhammad Subhan, Eka Rahmawati, Lis Suswati, Yus'iran, Y., & Fatimah, F. (2022). Variasi Ketinggian MDPL terhadap Nilai Percepatan Gravitasi Bumi pada Konsep Gerak Jatuh Bebas (GJB) untuk Pendekatan Pembelajaran. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 12(3), 831–837. <https://doi.org/10.37630/jpm.v12i3.660>
- Pare, A., & Sihotang, H. (2023). Pendidikan Holistik untuk Mengembangkan Keterampilan Abad 21 dalam Menghadapi Tantangan Era Digital. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(3), 27778–27787. <https://doi.org/10.31004/jptam.v7i3.11268>
- Peng, M. Y. P., Feng, Y., Zhao, X., & Chong, W. L. (2021). Use of Knowledge Transfer Theory to Improve Learning Outcomes of Cognitive and Non-cognitive Skills of University Students: Evidence From Taiwan. *Frontiers in Psychology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.583722>
- Puspita, N. I., Junanto, T., Harun, A. I., Enawaty, E., & Ulfah, M. (2024). Description of Students' Science Literacy Ability on Electrolyte and Non-Electrolyte Solution Materials at SMAN 11 Pontianak. *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, 12(2), 282. <https://doi.org/10.33394/hjkk.v12i2.10176>
- Restianingsih, T., Pebralia, J., & Mutia Anggraini, R. (2023). Pelatihan Pembuatan Kit Praktikum Fisika Berbasis Mikrokontroler Arduino Uno di SMK Negeri 9 Muaro Jambi. *JPM Pinang Masak*, 4(2), 31–38. <https://doi.org/doi.org/10.22437/jpm.v4i2.28797>
- Rifaldi, A. R., Mahardika, I. K., Subiki, Rahayu, E. C., Farika, N., & Afni, L. N. (2022). Analisis Miskonsepsi Fisika SMA pada Materi Gerak Jatuh Bebas Menggunakan Metode CRI. *Jurnal Phi*, 8(1), 11–18. <https://doi.org/10.22373/p-jpft.v8i1.13591>
- Romeo, G. (2019). Elements of Numerical Mathematical Economics with Excel. In *Elements of Numerical Mathematical Economics with Excel*. Academic Press. <https://doi.org/10.1016/c2018-0-02476-7>
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (23rd ed.). In *Jurnal Ilmu dan Riset* (23rd ed.). Alfabeta.
- Uskenat, K., Simangunsong, I. T., & Yuliatun, T. (2024). Pengembangan Modul Praktikum Osilator Pegas Bagi Siswa/i SMA. *Nusantara Journal of Multidisciplinary Science*, 2(3). <https://jurnal.intekom.id/index.php/njms>
- Walker, J., Halliday, D., & Resnick, R. (2014). Fundamentals of Physics Halliday & resnick 10ed. In *Wiley*.
- Wea, K. N., Hau, R. R. H., & Kleruk, E. D. (2021). Penerapan Metode Pembelajaran Inkuiri Terbimbing dengan Mind Mapping untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika Siswa. *Jurnal Ilmiah Wahana Pendidikan*, 7(8), 770–774. <https://doi.org/10.5281/zenodo.5820959>
- Wilcox, B. R., & Lewandowski, H. J. (2017). Students' views about the nature of experimental physics. *Physical Review Physics Education Research*, 13(2).

<https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.020110>

Wulansari, I. (2021). Literature Review Galat Dalam Pemodelan Dan Peramalan. *Citizen: Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, 1(3), 159–163. <https://doi.org/10.53866/jimi.v1i3.23>

Zadorozhnii, V. M. (2024). Using Arduino to develop research competencies of students in school physics education. *CTE Workshop Proceedings*, 11. <https://doi.org/10.55056/cte.663>