

Perancangan Alat Praktikum Koefisien Gesekan Digital pada Bidang Miring dengan Sensor FC-51 Berbasis *Arduino Uno*

Oksan Prasetyo Mundihi¹, Intan Audrey Eka Loding^{2*}, Marianus³, Jeane Verra Tumangkeng⁴, Ishak Pawarangan⁵

^{1,2*,3,4} Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Manado, Kab. Minahasa, Indonesia

⁵ Program Studi Fisika, Universitas Negeri Manado, Kab. Minahasa, Indonesia

*Email: 22505014@unima.ac.id

Abstrak

Pembelajaran konsep gaya gesek pada bidang miring sering kali hanya disampaikan secara teoretis sehingga kurang memberikan pengalaman empiris kepada peserta didik. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan alat praktikum koefisien gesekan digital pada bidang miring berbasis mikrokontroler *Arduino Uno* menggunakan sensor inframerah FC-51. Alat ini mampu mengukur waktu, kecepatan, percepatan, dan menghitung nilai koefisien gesekan secara otomatis. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* dengan tiga tahap, yaitu perancangan, perangkaian, dan pengujian alat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat dapat mengukur nilai koefisien gesekan dengan akurasi tinggi, yakni sebesar $(96,98 \pm 0,01)\%$ hingga 100%. Hasil pengukuran juga menunjukkan hubungan linear yang kuat antara nilai luaran alat dan nilai teoritis, dengan koefisien determinasi sebesar 0,9986. Temuan ini menunjukkan bahwa alat yang dikembangkan dapat dijadikan sebagai media praktikum yang efektif dan relevan dalam pembelajaran fisika, khususnya dalam memahami gaya gesekan pada bidang miring.

Kata kunci: Alat Praktikum, *Arduino Uno*, Bidang Miring, Koefisien Gesekan, Sensor FC-51.

Abstract

Learning the concept of friction force on an inclined plane is often only delivered theoretically so that it does not provide empirical experience to students. This research aims to design and develop a digital friction coefficient practicum tool on an inclined plane based on *Arduino Uno* microcontroller using FC-51 infrared sensor. This tool is able to measure time, speed, acceleration, and calculate the value of the coefficient of friction automatically. The research method used is *Research and Development* with three stages, namely design, assembly, and testing of tools. The test results show that the tool can measure the value of the coefficient of friction with high accuracy, which is $(96.98 \pm 0.01)\%$ to 100%. The measurement results also show a strong linear relationship between the tool's output value and the theoretical value, with a coefficient of determination of 0.9986. These findings indicate that the developed tool can be used as an effective and relevant practicum media in physics learning, especially in understanding friction forces on inclined planes.

Keywords: Practical Tools, *Arduino Uno*, Inclined Plane, Coefficient of Friction, FC-51 Sensor

Article History: Received: 20 May 2025

Accepted: 2 July 2025

Revised : 16 June 2025

Published: 30 November 2025

How to cite: Mundihi, O.P., Loding, I.A.E., Marianus, Tumangkeng, J.V., Pawarangan, I. (2025). Perancangan Alat Praktikum Koefisien Gesekan Digital pada Bidang Miring dengan Sensor FC-51 Berbasis *Arduino Uno*, *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, 6 (2). pp. 103-113.
<https://doi.org/10.30872/jlpf.v6i2.4928>

Copyright © November 2025, Jurnal Literasi Pendidikan Fisika

PENDAHULUAN

Fisika merupakan cabang ilmu pengetahuan yang mengkaji sifat, gejala, serta konsekuensi dari berbagai fenomena alam, baik yang dapat diamati secara langsung maupun yang bersifat teoritis atau konseptual (Giancoli, 2014; Murdani, 2020; Puspitasari & Setiaji, 2023). Pembelajaran fisika di sekolah sering kali melibatkan demonstrasi dan praktikum laboratorium sebagai sarana untuk menguji serta membuktikan validitas teori yang telah dipelajari (Sutrio dkk., 2023). Kegiatan praktikum penting dalam mempelajari fisika karena dapat meningkatkan motivasi siswa dalam mempelajari cabang ilmu ini serta memperkuat pemahaman serta konsep mereka secara mendalam, sehingga praktikum dalam pembelajaran fisika dapat memberikan peningkatan terhadap proses sains dan konsep (Freitas, 2023; Mulia & Murni, 2022; Ramadhani dkk., 2022).

Meskipun praktikum merupakan bagian penting dalam pembelajaran fisika, kenyataannya banyak sekolah di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala dalam pelaksanaannya. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa laboratorium fisika seringkali belum dimanfaatkan secara optimal sebagai sarana pendukung kegiatan belajar mengajar (Aprilia dkk., 2024). Salah satu penyebab utamanya adalah keterbatasan alat peraga yang tersedia di laboratorium, sehingga baik guru maupun siswa kesulitan dalam memaksimalkan fungsi laboratorium tersebut (Aprilia dkk., 2024; M dkk., 2022). Kondisi ini berdampak pada terbatasnya eksperimen yang dapat dilakukan, khususnya pada materi yang sulit dijelaskan secara abstrak, seperti gaya dan gerak (Zulensi dkk., 2025). Melihat permasalahan ini, menjadi jelas bahwa diperlukan upaya untuk mengembangkan alat praktikum fisika digital yang relevan dan mudah digunakan, agar pembelajaran konsep-konsep kompleks seperti efek gaya dan gerak dapat berlangsung lebih efektif dan bermakna.

Praktikum fisika berperan krusial dalam membantu siswa memahami konsep gaya dan gerak, karena memberikan kesempatan untuk mengamati langsung berbagai fenomena fisika. Salah satu topik penting yang tercakup dalam kurikulum fisika adalah materi gaya gesek pada bidang miring, yang membutuhkan pemahaman konseptual sekaligus pengalaman praktis untuk memperkuat pembelajaran (Zulensi dkk., 2025). Secara teoritis, gaya gesek statis (f_s) bekerja pada benda yang masih diam, sedangkan gaya gesek kinetis (f_k) muncul ketika benda mulai bergerak (Giancoli, 2014). Koefisien gesek statis (μ_s) merupakan rasio antara gaya gesek statis maksimum dengan gaya normal, sementara koefisien gesek kinetis (μ_k) adalah perbandingan antara gaya gesek kinetis dan gaya normal (Giancoli, 2014; Hardiansyah, 2021; Hartono & Prima, 2025). Dalam praktik pembelajaran konvensional, nilai dari koefisien gesek sering kali langsung diberikan tanpa disertai penjelasan bagaimana nilainya diperoleh melalui eksperimen. Hal ini dapat menimbulkan kesalahpahaman terhadap konsep gaya gesek, baik di kalangan siswa maupun calon guru fisika. Oleh karena itu, pelaksanaan praktikum yang memungkinkan pengukuran langsung koefisien gesek secara akurat menjadi sangat penting dalam memperkuat pemahaman konsep tersebut.

Namun demikian, pengukuran praktis koefisien gesekan di laboratorium tradisional masih banyak bergantung pada pengamatan manual sehingga rentan terjadi kesalahan pengamatan. Pendekatan eksperimen berbasis sensor digital dinilai lebih efektif dan akurat dalam menghasilkan nilai teoritis dari suatu konsep dengan tepat (Humairoh dkk., 2021; Purnama dkk., 2022; Sholakhudin, 2024). Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan alat praktikum fisika berbasis mikrokontroler untuk mendukung kegiatan eksperimen yang lebih akurat dan efisien. Penelitian oleh Humairoh dkk., (2021) menggunakan sensor *photodiode* dan mikrokontroler *Arduino Uno* untuk mengukur waktu dan kecepatan pada gerak jatuh bebas, namun implementasinya masih terbatas pada gerak vertikal tanpa memperhitungkan variabel sudut bidang. Selanjutnya, Sholakhudin (2024) mengembangkan alat praktikum gerak lurus menggunakan sensor *infrared* (IR) KY-032 dan mikrokontroler *Arduino Uno*, yang mampu mengukur kecepatan sesaat dan akhir secara digital, namun alat tersebut masih terbatas pada deteksi kecepatan tanpa pengukuran gaya atau koefisien gesekan, sensor KY-032 juga tidak sangat sensitif dengan cahaya lingkungan sehingga terbatas dalam pengukuran dalam ruangan minim cahaya. Kemudian, Hartono & Prima (2025) menggunakan sensor ultrasonik HC-SR04 dengan *Arduino Uno* untuk menentukan koefisien gesekan statis dan kinetis, namun pengujian dilakukan hanya pada bidang

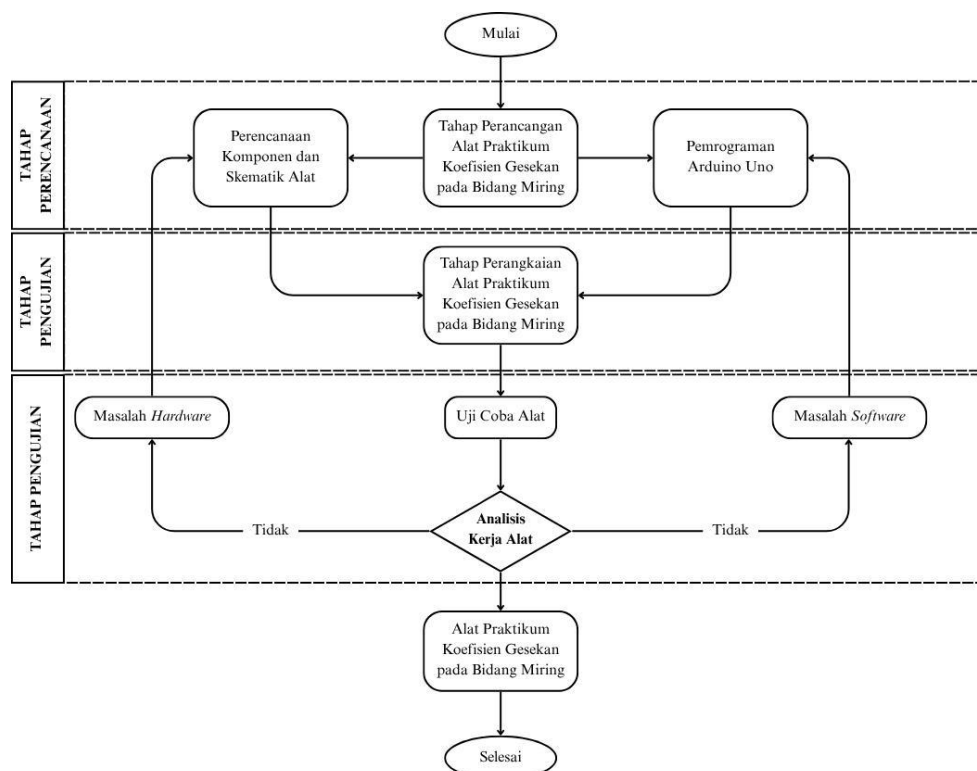
datar dan tidak memanfaatkan sensor optik untuk respons cepat terhadap perubahan posisi objek. Sejumlah penelitian tersebut menggunakan komponen-komponen yang umum tersedia namun bekerja sesuai fungsi dan akurat, akan tetapi masih memiliki kekurangan, tetapi masih relevan untuk mendukung kegiatan praktikum siswa.

Berdasarkan tinjauan di atas, penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan alat praktikum otomatis untuk mengukur koefisien gesekan digital pada bidang miring dengan memanfaatkan sensor IR FC-51 dan mikrokontroler *Arduino Uno*. Sensor FC-51 dipilih karena lebih stabil dalam mendeteksi objek pada jarak pendek dan lebih tahan terhadap gangguan cahaya dibandingkan sensor sejenis seperti KY-032 (Sholakhudin, 2024; Susanna & Murdianto, 2021). Selain itu, sensor ini memiliki trimpot atau potensiometer yang memudahkan penyesuaian sensitivitas, bentuk dari FC-51 yang kompak, serta konsumsi daya rendah, sehingga sangat cocok digunakan dalam alat praktikum digital berbasis *Arduino Uno* untuk pembelajaran fisika di SMA. Alat ini diharapkan dapat membantu siswa secara langsung memperoleh nilai koefisien gesekan melalui percobaan, sehingga memperdalam pemahaman konsep gaya dan gerak melalui praktikum.

METODE

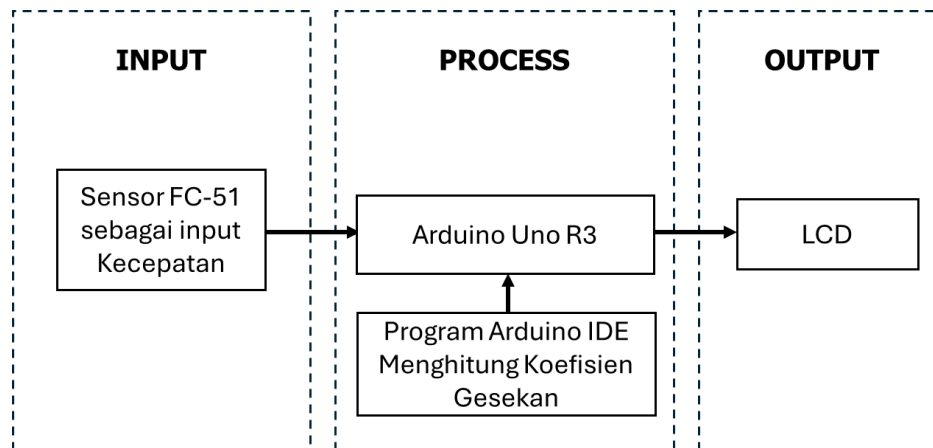
Penelitian perancangan dan pengembangan alat pengukur koefisien gesekan berbasis *Arduino Uno* menggunakan metode *Research and Development* (R&D). Metode R&D merupakan suatu pendekatan penelitian yang berfokus pada penciptaan produk serta evaluasi terhadap fungsinya. Pendekatan ini melibatkan tiga tahapan utama, yaitu tahap perencanaan, proses pengembangan (perangkaian), dan uji coba produk (Gustiani, 2019; Sugiyono, 2019).

Diagram alir berfungsi sebagai panduan sistematis yang menggambarkan tahapan metode penelitian dalam proses ilmiah, sekaligus menjadi dasar dalam pengambilan keputusan yang didasarkan pada bukti empiris selama pelaksanaan penelitian (Chaudhuri, 2020). Diagram alir dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir perancangan alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring

Tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian sesuai dengan metode dan diagram alir pada Gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut. Tahapan perencanaan adalah tahapan pertama yang dilakukan dengan cara menyusun skema blok alat berdasarkan fungsi dari komponen inti alat yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok proses alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring

Dalam tahapan ini juga dilakukan perencanaan dalam menentukan komponen-komponen yang akan digunakan pada alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring yang disajikan pada Tabel 1. Kemudian komponen-komponen yang dipilih digambarkan secara skematik dengan *software* komputer *Proteus 8*.

Tabel 1. Komponen alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring

No	Nama Komponen	Fungsi
1.	Arduino Uno	Mikrokontroler utama untuk memproses data dari sensor dan mengendalikan output. Sensor ini berfungsi mendeteksi keberadaan objek menggunakan sinyal inframerah. Dua sensor digunakan untuk menghitung waktu tempuh objek antara dua titik, dan data waktu tersebut diolah oleh <i>Arduino Uno</i> untuk memperoleh nilai koefisien gesekan pada bidang miring.
2.	Sensor FC-51	Menampilkan hasil pembacaan sensor secara digital dalam bentuk waktu dan nilai koefisien gesekan.
3.	LCD I2C 16x2	Tempat penyusunan sirkuit elektronik tanpa penyolderan.
4.	Breadboard	Menghubungkan antar komponen elektronik pada <i>breadboard</i> dan <i>Arduino</i> .
5.	Kabel Jumper	Menyediakan daya untuk mengoperasikan alat.
6.	Baterai 9V	

Tahap selanjutnya merupakan tahapan perangkaian alat. Pada tahap ini seluruh komponen yang telah direncanakan dirakit sesuai dengan skematik yang telah dibuat. Perangkat yang telah tersusun kemudian dihubungkan dengan komputer untuk dimasukkan program melalui *software* komputer *Arduino IDE*. Program yang dimasukkan berfungsi mengolah *input* yang diberikan oleh sensor melalui persamaan matematika yang telah dimodifikasi dalam bentuk program dengan bahasa pemrograman C/C++ . Proses ini juga merupakan tahapan kalibrasi awal dari alat untuk pembacaan sensor yang lebih optimal.

Tahap terakhir adalah tahapan pengujian alat. Pada tahap ini, dilakukan pengujian sensor FC-51

Perancangan Alat Praktikum..

dengan cara menggerakkan suatu objek pada bidang miring dititik tetap agar terdeteksi oleh sensor, kemudian hasil koefisien gesekan yang muncul dibandingkan dengan perhitungan secara teoritis. Perhitungan secara teoritis dari koefisien gesekan pada bidang miring sesuai dengan analisis penulis berdasarkan literatur dari Andriani dkk. (2021), Fitrianingrum & Pawarangan (2024), Giancoli (2014) dapat dinyatakan oleh Persamaan (1).

$$\mu_k = \tan \theta - \frac{a}{g \cos \theta} \quad (1)$$

dimana μ_k adalah nilai dari koefisien gesekan kinetis dari bidang miring, θ adalah sudut elevasi dari bidang miring, a adalah percepatan gerak objek pada bidang miring dalam m/s^2 , dan g adalah percepatan gravitasi dari bumi yang bernilai $9,81 m/s^2$.

Kecepatan sebagai fungsi waktu pada gerak lurus berubah beraturan (GLBB) dinyatakan sebagai oleh Persamaan (2).

$$v = v_0 + at \quad (2)$$

(Giancoli, 2014; Halliday dkk., 2013)

Objek yang dilepaskan nilai kecepatannya adalah nol, maka pada konsep GLBB akan didapatkan seperti pada Persamaan (3).

$$a = \frac{v}{t} \quad (3)$$

(Giancoli, 2014; Halliday dkk., 2013)

Maka perhitungan teoritis dari koefisien gesekan kinetis pada bidang miring dapat dituliskan kembali seperti yang dinyatakan oleh Persamaan (4).

$$\mu_k = \tan \theta - \frac{v}{gt \cos \theta} \quad (4)$$

Data hasil pengujian dibandingkan dengan nilai teoritis untuk menilai akurasi pembacaan koefisien gesekan pada bidang miring. Penilaian ini penting karena ketepatan pengukuran merupakan faktor utama dalam pemilihan instrumen yang tepat untuk implementasi tertentu (Majdi dkk., 2024), khususnya sebagai alat ukur koefisien gesekan. Langkah selanjutnya adalah menghitung tingkat kesalahan (galat) dan koefisien determinasi (R^2) guna mengevaluasi kelayakan kinerja alat yang telah dirancang. Tingkat kesalahan merujuk pada deviasi tak terduga dalam hasil pengukuran dan koefisien determinasi merujuk pada kecocokan atau hubungan antara dua variabel, dalam hal ini koefisien gesekan sebagai luaran alat dan perhitungan secara teoritis (Cheng dkk., 2014; Morris, 2001). Nilai dari galat dan akurasi dapat ditentukan masing-masing oleh Persamaan (5) dan Persamaan (6).

$$\% \text{ galat} = \frac{|\text{teoritis} - \text{luaran}|}{\text{teoritis}} \times 100\% \quad (5)$$

$$\% \text{ akurasi} = 100\% - \% \text{ galat} \quad (6)$$

(Agustia & Kiki H, 2018; Morris, 2001)

Ketidakpastian pengukuran dihitung untuk mengetahui seberapa besar keraguan terhadap hasil suatu pengukuran (Van Der Veen, 2003). Jika pengukuran dilakukan beberapa kali, ketidakpastian dihitung menggunakan simpangan baku (*standard deviation*) dari data pengukuran, yang mencerminkan sebaran nilai terhadap rata-rata (Klapetek, 2018). Ketidakpastian rata-rata (s) ditentukan dengan Persamaan (7).

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (x_i - \bar{x})^2} \quad (7)$$

Ketidakpastian ini dapat digunakan untuk menyatakan hasil pengukuran dalam bentuk nilai rata-rata \pm

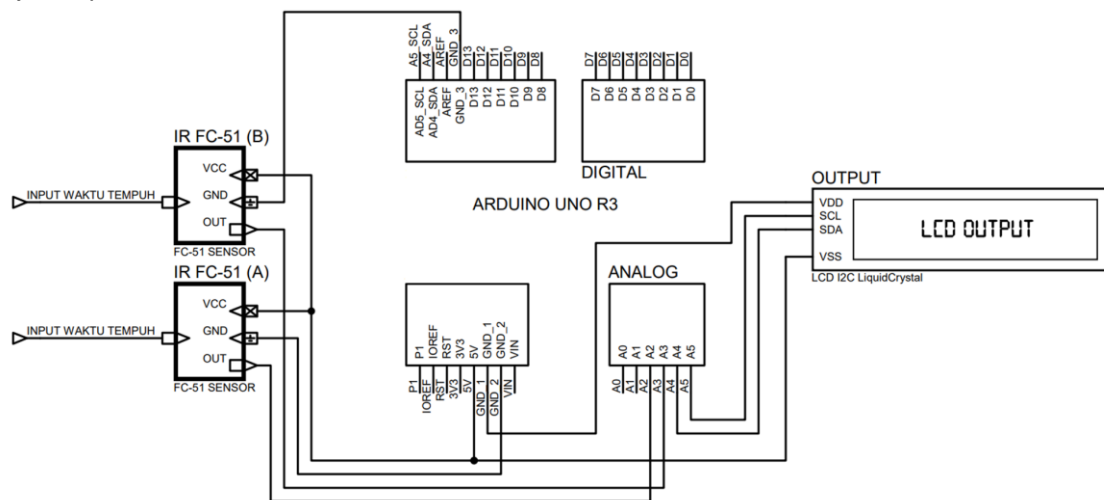
ketidakpastian (s), guna menggambarkan presisi terhadap nilai yang dihasilkan oleh alat.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dalam perancangan alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring dijelaskan dengan tahapan-tahapan R&D sebagai berikut.

Perencanaan Alat

Pada tahap perencanaan, *software Proteus 8* digunakan untuk merancang alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring dalam bentuk skematik. Hasil rancangan skematik dari alat tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Desain alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring menggunakan sensor FC-51

Alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu baterai sebagai sumber tegangan, *Arduino Uno R3* yang berperan sebagai mikrokontroler utama, dan dua buah sensor FC-51 yang digunakan untuk mendeteksi waktu tempuh benda. Data dari sensor FC-51 kemudian diproses oleh Arduino untuk menghitung nilai koefisien gesekan. Hasil perhitungan ditampilkan melalui *LCD Display (LiquidCrystal 1602)*. Selain itu, alat ini juga dilengkapi dengan sejumlah kabel *jumper male-to-male* dan *male-to-female*, serta *breadboard* yang digunakan sebagai media perakitan rangkaian elektronik.

Dalam perancangan alat, komponen-komponen yang dihubungkan dengan kabel *jumper* ditunjukkan oleh Tabel 2.

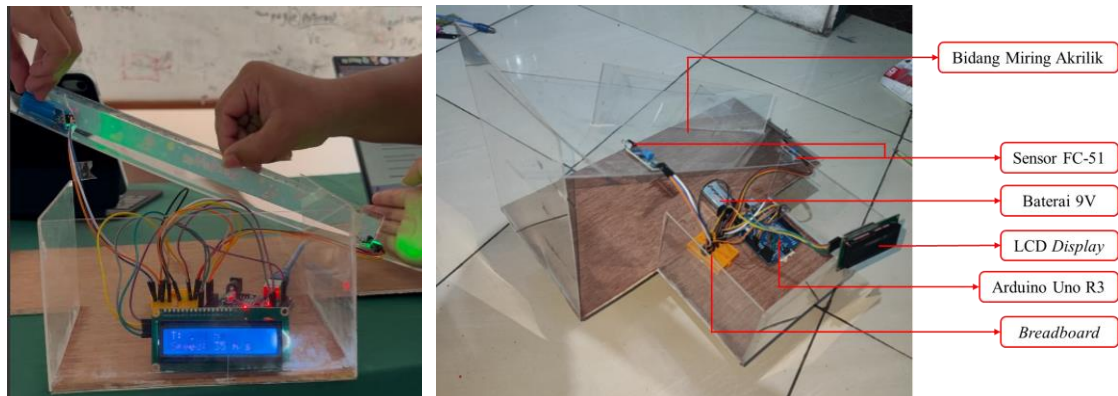
Tabel 2. Rangkaian Koneksi Kabel Komponen dengan *Arduino Uno*

No	Nama Komponen	Pin Komponen	Pin <i>Arduino Uno</i>
1	Sensor FC-51	OUT (Sensor 1)	A2
		OUT (Sensor 2)	A3
		VCC	5V
		GND	GND
2	LCD I2C Display	VSS	5V
		VDD	GND
		SDA	A4 atau SDA
		SCL	A5 atau SCL

Selanjutnya, diagram blok kerja alat yang dirancang dapat dilihat pada Gambar 2.

Perangkaian Alat

Setelah tahap perencanaan alat selesai, proses dilanjutkan ke tahap perangkaian, yaitu perakitan komponen-komponen yang telah ditentukan sesuai skematik. Alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring yang telah berhasil dirancang dan dirakit secara lengkap ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 4. Hasil perangkaian alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring dan bagiannya

Gambar 4 menunjukkan keseluruhan tampilan alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring yang telah berhasil dirancang dan dirakit. Alat ini terdiri atas bidang miring berbahan akrilik sebagai lintasan uji, serta sistem elektronik yang ditempatkan secara rapi di atas permukaan landasan. Rangkaian utama alat meliputi mikrokontroler *Arduino Uno R3*, sensor inframerah FC-51, *LCD display* 16x2, *breadboard*, dan sumber daya berupa baterai 9V.

Sensor FC-51 diposisikan pada bagian atas dan bawah lintasan sejauh 50 cm satu sama lain untuk mendeteksi keberadaan benda yang meluncur pada bidang miring. *Arduino Uno R3* mengolah sinyal dari sensor tersebut untuk menentukan waktu tempuh, kecepatan, dan percepatan benda yang bergerak. Data ini selanjutnya digunakan untuk menghitung koefisien gesekan antara benda dan permukaan bidang miring berdasarkan analisis hukum Newton dan dinamika gerak. Semua hasil pengukuran ditampilkan secara otomatis pada *LCD display*, sehingga pengguna dapat langsung memperoleh informasi kecepatan, waktu, jarak, percepatan, dan nilai koefisien gesek statik maupun kinetik tanpa perhitungan manual tambahan.

Rangkaian elektronik alat dirakit pada *breadboard*, kemudian ditempatkan dalam pelindung akrilik transparan untuk menjaga kestabilan dan keamanan komponen. Penggunaan bahan akrilik juga memberikan tampilan alat yang bersih dan profesional, serta memudahkan pengguna dalam memantau posisi sensor dan komponen selama proses praktikum berlangsung. Sistem ini ditenagai oleh baterai 9V yang memungkinkan alat beroperasi secara portabel tanpa harus terhubung dengan komputer.

Pengujian Alat

Setelah alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring selesai dirakit, tahap berikutnya adalah melakukan uji coba alat guna memperoleh data mengenai performa alat. Data yang dihasilkan dari pengujian ini akan digunakan dalam proses kalibrasi untuk memastikan bahwa alat berfungsi secara optimal dan memberikan hasil yang akurat.

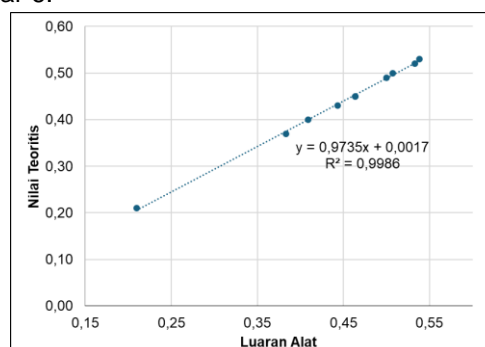
Hasil data pengukuran pengujian alat yang diperoleh dengan menggunakan sensor FC-51 merupakan perbandingan luaran koefisien gesekan pada alat (μ_{out}) terhadap perhitungan koefisien gesekan secara teoritis (μ_{teori}) dengan menggunakan Persamaan (3). Pengambilan data dilakukan sebanyak 10 kali dengan meluncurkan sebuah benda dari atas bidang miring dengan sudut elevasi 30° dan jarak antar sensor sebesar 0,5 m, kemudian dideteksi oleh sensor. Hasil data yang didapatkan melalui pengukuran pengujian koefisien gesekan pada alat dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data Pengujian Pengukuran Koefisien Gesekan

Percobaan Ke-	t (s)	v (m/s)	a (m/s ²)	μ_{out}	μ_{teori}	Ketepatan (%)
1	1,21	0,41	0,34	0,530	0,538	98,51
2	0,87	0,57	0,66	0,490	0,500	98,00
3	0,72	0,69	0,96	0,450	0,464	96,98
4	0,91	0,55	0,60	0,500	0,507	98,62
5	0,66	0,76	1,15	0,430	0,443	97,07
6	0,72	0,69	0,96	0,450	0,464	96,98
7	1,15	0,43	0,38	0,520	0,533	97,56
8	0,55	0,91	1,65	0,370	0,383	96,61
9	0,59	0,85	1,44	0,400	0,409	97,80
10	0,40	1,25	3,13	0,210	0,210	100,00
Rata – Rata						97,81 \pm 0,96

Hasil data pengukuran koefisien gesekan pada bidang miring yang dilakukan sebanyak 10 kali menunjukkan bahwa alat bekerja dengan baik. Akurasi alat secara rata-rata adalah 97,81% \pm 0,96% yang artinya nilai luaran koefisien gesekan pada alat hampir mendekati nilai teoritis. Alat yang telah dikembangkan masuk dalam kategori sangat layak/sangat baik yang sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (Zulensi dkk., 2025).

Akurasi paling rendah terdapat pada percobaan ke-3 dan ke-6 dengan akurasi sebesar 96,98% yang dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor. Pertama, galat pengukuran acak (*random error*), seperti fluktuasi waktu baca sensor inframerah maupun ketidaktepatan posisi pelepasan benda, sehingga menimbulkan deviasi nilai μ_k tiap pengulangan. Kedua, gangguan cahaya sekitar yang tidak konsisten, dapat menggeser semua hasil pengukuran. Ketiga, kesalahan paralaks pada sudut bidang miring yang tidak tepat sehingga dapat menyebabkan nilai sudut dan gaya normal tidak akurat. Terakhir, *delay* sensor atau gerakan awal yang tidak seragam, dapat menurunkan akurasi pengukuran (Manuhutu dkk., 2023; Zulensi dkk., 2025). Akurasi ini masih menandakan bahwa nilai luaran koefisien gesekan pada alat masih mendekati nilai teoritis, kemudian untuk akurasi paling tinggi ada pada percobaan ke-10 dengan akurasi sebesar 100% yang menandakan bahwa nilai luaran koefisien gesekan pada alat sama seperti nilai teoritisnya. Ketidaktepatan sebesar \pm 0,96% yang didapatkan dengan Persamaan (7) dalam perhitungan akurasi seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2. Dengan hasil ketepatan pada Tabel 2 dapat dipastikan bahwa alat bekerja secara konsisten, optimal, dan akurat. Hubungan regresi linear antara pengukuran koefisien gesekan terhadap koefisien gesekan secara teoritis didapatkan grafik yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik pengujian alat dengan mengukur koefisien gesekan terhadap perhitungan secara teoritis.

Pada Gambar 6 ditunjukkan grafik hubungan antara nilai luaran koefisien gesekan alat (sumbu x) dan nilai koefisien gesekan secara teoritis (sumbu y) yang menghasilkan korelasi linier yang sangat baik antara nilai μ yang diukur oleh alat (μ_{out}) dan nilai teoritis (μ_{teori}). Regresi linier data tersebut diperoleh persamaan $y = 0,9735x + 0,0017$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0,9986$. Slope mendekati satu (0,9735) dan intercept kecil (0,0017) menunjukkan bahwa nilai μ_{out} hampir setara dengan nilai μ_{teori} . Nilai R^2 yang mendekati 1 mengindikasikan hampir seluruh variasi μ_{out} dapat dijelaskan oleh

μ_{teori} . Sebagai perbandingan, dalam kajian kalibrasi sensor pH dan EC, (Dewana dkk. (2024) melaporkan fungsi kalibrasi sensor dengan $R^2 \approx 0,9869$ dan $0,9853$ serta ketelitian dan ketepatan pengukuran di atas 96%. Dengan analogi ini, $R^2 \approx 0,9986$ pada alat ini menandakan akurasi pengukuran yang sangat tinggi.

Hasil eksperimen ini konsisten dengan temuan penelitian lain dalam dekade terakhir. Sebagai contoh, Georgios dkk. (2024) melakukan percobaan serupa menggunakan blok kayu pada bidang miring dengan Arduino dan sensor ultrasonik, dan memperoleh koefisien gesekan kinetis μ_k sebesar 0,195 dengan analisis linier sangat baik ($R^2 \approx 0,999$). Meskipun kondisi percobaannya berbeda (sudut θ sebesar $13,9^\circ$), nilai eksperimental $\mu \approx 0,195$ yang didapat adalah masuk akal menurut teori Newton dan memperlihatkan akurasi alat pengukuran yang baik. Kemudian ada Dengan kata lain, hasil Georgios dkk. (2024) menunjukkan bahwa perangkat sederhana berbasis Arduino dapat mendeteksi perubahan μ_k sesuai prediksi teori. Kemudian Sholakhudin (2024) merancang alat praktikum untuk mengamati gerak lurus dengan menggunakan sensor IR KY-032 dan *Arduino Uno*, serta menampilkan data kecepatan pada LCD I2C 16x2. Percobaannya menggunakan mobil mainan sebagai benda uji dan menghasilkan akurasi pengukuran rata-rata sebesar 97,03%. Meskipun fokus penelitiannya pada gerak lurus (GLB dan GLBB), bukan koefisien gesekan seperti pada penelitian ini, prinsip kerjanya serupa: sensor mendeteksi waktu tempuh benda pada lintasan tetap, lalu mikrokontroler mengolah data menjadi parameter fisis. Artinya, temuan Sholakhudin (2024) memperkuat bahwa perangkat sederhana berbasis Arduino dan sensor optik dapat menghasilkan data eksperimen yang mendekati teori, dan mampu mendukung pembelajaran praktikum fisika digital.

Secara keseluruhan, grafik regresi menunjukkan bahwa nilai μ_k yang diukur oleh alat sangat sesuai dengan nilai teoritis, mirip dengan temuan peneliti lain. Nilai R^2 tinggi berarti rancangan alat ini sangat akurat dalam menjelaskan fenomena gesekan pada bidang miring. Dengan memasukkan pemahaman teori gaya gesek dan hasil-hasil literatur terkini, dapat menyimpulkan bahwa alat pengukur koefisien gesekan pada bidang miring ini valid secara fisika, sehingga dapat digunakan dan dimanfaatkan dalam menunjang pembelajaran melalui aplikasinya sebagai alat praktikum gaya dan gerak berbasis digital.

PENUTUP

Berdasarkan hasil perancangan, perangkaian, dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat pengukur koefisien gesekan digital pada bidang miring berbasis *Arduino Uno* dan sensor FC-51 telah berhasil dikembangkan dan bekerja dengan baik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa alat mampu mengukur waktu, kecepatan, percepatan, dan nilai koefisien gesekan secara otomatis dengan tingkat akurasi tinggi, yakni berada pada rentang $(96,98 \pm 0,01)\%$ hingga $(100 \pm 0,01)\%$. Korelasi linear antara luaran alat (μ_{out}) dan nilai teoritis (μ_{teori}) menunjukkan tingkat determinasi R^2 sebesar 0,9986, yang menandakan bahwa alat ini akurat dan valid dalam mengukur fenomena gesekan sesuai teori fisika. Keberhasilan alat ini memperlihatkan bahwa perangkat eksperimen digital sederhana dengan komponen yang mudah diperoleh dapat menjadi solusi praktis dalam pelaksanaan praktikum gaya gesek di sekolah atau perguruan tinggi. Secara keseluruhan, alat ini layak digunakan sebagai media praktikum maupun demonstrasi dalam mempelajari konsep gaya dan gerak secara digital untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa.

Sebagai saran, penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan alat dengan kemampuan pengukuran pada berbagai jenis permukaan dan variasi massa benda untuk melihat pengaruh material terhadap nilai koefisien gesekan. Selain itu, perlu dilakukan integrasi sistem *logging* data berbasis SD card atau komunikasi nirkabel agar alat dapat merekam data secara lebih lengkap untuk keperluan analisis lanjutan. Disarankan pula adanya penyempurnaan sistem kalibrasi sensor serta pengujian di lingkungan berbeda untuk memastikan keandalan alat dalam berbagai kondisi. Temuan ini diharapkan dapat menjadi kontribusi nyata dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi di bidang pendidikan fisika.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustia, R. D., & Kiki H, T. A. (2018). Pembangunan PROTOTYPE Aplikasi Pengawasan Dan Pengendalian Pembudidayaan Mikroalga Spirulina. *Komputa: Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika*, 7(1), 11–18. <https://doi.org/10.34010/komputa.v7i1.2531>
- Andriani, F., Busri, S. S., Rande, W., Joni, Y. M., & Astro, R. B. (2021). ANALISIS KOEFISIEN GESEK KINETIS BENDA DI BIDANG MIRING MENGGUNAKAN VIDEO TRACKER. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 5(1), 74–83. <https://doi.org/10.37478/optika.v5i1.980>
- Aprilia, S. D., Wulandari, S. N., Agustina, K. D., & Sulaeman, N. F. (2024). Meneksplorasi Dampak Ketersediaan Peralatan pada Pelaksanaan Praktikum Fisika di Laboratorium SMA. *Jurnal Literasi Pendidikan Fisika*, 5(1), 49–58. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v5i1.2878>
- 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>
- Dewana, M. B., Priyonggo, B., Suliyanto, H., Wulandari, W., & Aninditya, M. W. (2024). Kalibrasi dan validasi instrument ukur fertigasi tipe Nido One V2. *Sultra Journal of Mechanical Engineering (SJME)*, 3(2), 81–88. <https://doi.org/10.54297/sjme.v3i2.738>
- Fitrianingrum, A. M., & Pawarangan, I. (2024). Identifikasi Konsep Fisika pada Bidang Miring Berbantuan Aplikasi Algodoo. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 5(1), 38–44. <https://doi.org/10.53682/fista.v5i1.351>
- Freitas, M. L. F. (2023). PENTINGNYA KEGIATAN LABORATORIUM DI PROGRAM STUDI ENSINO DE FISIKA UNIVERSITAS NACIONAL TIMOR LOROSA'E (UNTL). *MAGNETON: Jurnal Inovasi Pembelajaran Fisika UNWIRA*, 1(2), 79–85. <https://doi.org/10.30822/magneton.v1i2.2469>
- Georgios, S., Evangelos, E., Vasileios, N., Konstantinos, G., & Konstantinos, K. T. (2024). Measurement of Kinetic Friction Coefficient using an Arduino. *International Journal Of Innovative Research*, 13(7), 13326–13330. <https://doi.org/10.15680/IJIRSET.2024.1307098>
- Giancoli, D. C. (2014). Physics Principles with Application 7th Edition. In *Pearson Education* (Vol. 1, Nomor 9).
- Gustiani, S. (2019). Research and Development (R&D) Method as a Model Design in Educational Research and Its Alternatives. *HOLISTICS JOURNAL*, 11(2).
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2013). *Fundamental of Physics [10th Edition]* (10 ed.). John Wiley & Sons.
- Hardiansyah, I. W. (2021). PENERAPAN GAYA GESEK PADA KEHIDUPAN MANUSIA. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 10(1). <https://doi.org/10.20961/inkui.v10i1.44531>
- Hartono, R., & Prima, E. C. (2025). The Coefficients of Static and Kinetic Friction using Arduino. *Jurnal Pena Sains*, 12(1), 1–11. <https://doi.org/10.21107/jps.v12i1.27762>
- Humairoh, S., Yakob, M., Lubis, N. A., & Putra, R. A. (2021). Perancangan Alat Praktikum Berbasis Arduino Untuk Menentukan Waktu Dan Kecepatan Secara Otomatis Pada Gerak Jatuh Bebas. *GRAVITASI: Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains*, 4(01), 23–32. <https://doi.org/doi.org/10.33059/gravitasi.jpfs.v4i01.3482>
- Klapetek, P. (2018). Motivation. In *Quantitative Data Processing in Scanning Probe Microscopy* (hal. 1–18). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-813347-7.00001-7>
- M, A., Sakti, I., & Kadir, F. (2022). Analisis Pelaksanaan Praktikum Fisika di SMA Negeri Se-Kabupaten Maros. *SILAMPARI JURNAL PENDIDIKAN ILMU FISIKA*, 4(2), 125–136. <https://doi.org/10.31540/sjpif.v4i2.1857>
- Majdi, L. M., Kumendong, I. M., Huwaidah, I., & Aziz, M. F. A. (2024). Pemanfaatan Termokopel sebagai Sensor Suhu untuk Analisis Kelarutan Zat Terlarut. *Jurnal FisTa: Fisika dan Terapannya*, 5(2), 85–92. <https://doi.org/https://doi.org/10.53682/fista.v5i2.406>
- Manuhutu, F., Kesaulya, N., & Rachman, G. (2023). Perancangan Alat Penentuan Koefisien Gesek Statis Menggunakan Sensor IR FC-51 dan Potensiometer Berbasis Arduino Uno. *PHYSIKOS*

Perancangan Alat Praktikum..

- Journal of Physics and Physics Education*, 2(1), 37–43. <https://doi.org/10.30598/physikos.2.1.9326>
- Morris, A. S. (2001). Measurement and Instrumentation Principles. *Measurement Science and Technology*, 12(10). <https://doi.org/10.1088/0957-0233/12/10/702>
- Mulia, S., & Murni, S. (2022). Implikasi Pembelajaran Praktikum Ilmu Pengetahuan Alam Dalam Kemajuan Kognitif Siswa. *SEARCH: Science Education Research Journal*, 1(1), 1–1. <https://ejurnal.iainsorong.ac.id/index.php/jaser>
- Murdani, E. (2020). Hakikat Fisika dan Keterampilan Proses Sains. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 3(3), 72–80. <https://doi.org/10.23887/jfi.v3i3.22195>
- Purnama, D., Harpian, H., Pereira, V. V., Rusdiana, D., & Suwarma, I. R. (2022). Pengembangan Alat Praktikum Berbasis Arduino Uno Materi Keseimbangan Benda Tegar (Momen Inersia dan Momentum Sudut). *Jurnal Pendidikan Indonesia*, 3(2). <https://doi.org/10.36418/japendi.v3i2.574>
- Puspitasari, Z., & Setiaji, B. (2023). Revitalisasi Pembelajaran Fisika Melalui Eksplorasi Konsep Metode Inkuiri Terbimbing. *Journal of Physics Education and Science*, 1(1), 1–10. <https://doi.org/10.47134/physics.v1i1.133>
- Ramadhani, S. M., Najah, T. S., & Yuliani, H. (2022). Pengaruh Pembelajaran Fisika Menggunakan Metode Praktikum Terhadap Motivasi dan Hasil Belajar Kelas VII. *LAMBDA: Jurnal Ilmiah Pendidikan MIPA dan Aplikasinya*, 2(3), 175–186. <https://doi.org/10.58218/lambda.v2i3.370>
- Sholakhudin, M. N. (2024). Alat Praktikum Gerak Lurus Dengan Sensor IR Berbasis Arduino. *Saintifik@: Jurnal Pendidikan MIPA*, 9(1), 20–27. <https://doi.org/10.33387/saintifik.v9i1.8139>
- Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Pendidikan Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (23rd ed.). In *Jurnal Ilmu dan Riset* (23rd ed.). Alfabeta.
- Susanna, S., & Murdianto, M. (2021). Pemanfaatan Trainer Kit Microcontroller untuk Menguji dan Kalibrasi Sensor Kits pada Laboratorium Teknologi Informasi POLNES. *Just TI (Jurnal Sains Terapan Teknologi Informasi)*, 13(2), 61–66. <https://doi.org/10.46964/justti.v13i2.477>
- Sutrio, Gunawan, Herayanti, L., & Nisrina, N. (2023). Penyuluhan Peran Laboratorium dan Pentingnya Praktikum dalam Pembelajaran Fisika. *Indonesian Journal of Education and Community Services*, 3(2), 75–82.
- Van Der Veen, A. M. H. (2003). Measurement uncertainty and the use of reference materials. In *Accreditation and Quality Assurance* (Vol. 8, Nomor 12). <https://doi.org/10.1007/s00769-003-0706-9>
- Zulensi, F. C., Anas, A. A., Wilza, R., Rizal, S., & Sundari, E. (2025). Pengembangan Alat Praktikum Fisika Gaya Gesek Pada Bidang Miring Berbasis Internet Of Things. *Machinery Jurnal Teknologi Terapan*, 6(1), 66–78. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15234480>