

**PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM GAYA GESEK
BERBASIS *ARDUINO UNO R3* UNTUK MENENTUKAN
KOEFSIEN GESEK STATIS DAN KINETIS**

SKRIPSI

Untuk Memenuhi Sebagian Syarat Memperoleh Derajat Sarjana S1 Program
Studi Pendidikan Fisika



**PROGRAM STUDI PENDIDIKAN FISIKA
FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN
UIN SUNAN KALIJAGA YOGYAKARTA**

2026

LEMBAR PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS ILMU TARBIYAH DAN KEGURUAN
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 513056 Fax. (0274) 586117 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-2687/Un.02/DT/PP.00.9/08/2026

Tugas Akhir dengan judul : PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM GAYA GESEK BERBASIS ARDUINO UNO R3 UNTUK MENENTUKAN KOEFISIEN GESEK STATIS DAN KINETIS

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : BRIAN ISNANTO
Nomor Induk Mahasiswa : 21104050024
Telah diujikan pada : Selasa, 21 Juli 2026
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Valid ID: 6a7d26987255c

Ketua Sidang

Drs. Nur Untoro, M.Si.
SIGNED



Valid ID: 6a7ab412e338

Penguji I

Norma Sidik Risdianto, S.Pd., M.Sc., Ph.D.
SIGNED



Valid ID: 6a7cbf219259e

Penguji II

Himawan Putranta, M.Pd.
SIGNED



Valid ID: 6a7ef14740b6

Yogyakarta, 21 Juli 2026
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
Prof. Dr. Sigit Purnama, S.Pd., M.Pd.
SIGNED

SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Brian Isnanto

NIM : 21104050024

Program Studi : Pendidikan Fisika

Fakultas : Ilmu Tarbiyah dan Keguruan

Menyatakan bahwa skripsi yang saya susun sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana yang berjudul “Pengembangan Alat Praktikum Gaya Gesek Berbasis *Arduino Uno R3* untuk Menentukan Koefisien Gesek Statis dan Kinetis” merupakan karya hasil tulisan saya sendiri. Adapun bagian-bagian yang saya kutip dari hasil karya tulisan orang lain sebagai bahan acuan telah dituliskan sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika dalam penulisan ilmiah, serta dicantumkan dalam daftar pustaka. Apabila terbukti pernyataan ini tidak benar, maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Demikian surat pernyataan ini saya buat agar dapat dimaklumi dan digunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 10 Juli 2026

Yang menyatakan



Brian Isnanto

NIM. 21104050024

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Hal : Permohonan Persetujuan Skripsi/Tugas Akhir

Lamp : Satu Bendel Skripsi

Kepada
Yth. Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan
UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
di Yogyakarta

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Setelah membaca, meneliti, dan memberi petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka kami selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi mahasiswa:

Nama : Brian Isnanto

NIM : 21104050024

Judul Skripsi : Pengembangan Alat Praktikum Gaya Gesek Berbasis *Arduino Uno R3* untuk Menentukan Koefisien Gesek Statis dan Kinetis.

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana stars satu dalam bidang Pendidikan Fisika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir mahasiswa tersebut dapat segera dimunaqosyahkan. Atas perhatian Bapak/Ibu kami ucapkan terimakasih.

Wassalamu'alaikum Wr. Wb

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

Yogyakarta, 07 Juli

2026

Yang menyatakan

Drs. Nur Untoro, M.Si.

NIP. 19661126 199603 1 001

MOTTO

“Sungguh, Kami benar-benar akan mengujimu sehingga mengetahui orang-orang yang berjihad dan bersabar di antara kamu serta menampakkan (kebenaran) berita-berita (tentang) kamu”

(QS. Muhammad (47) : 31)

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tidak ada yang berputus asa dari rahmat Allah, kecuali kaum yang kafir”

(QS. Yusuf (12) : 87)

“Sesungguhnya jika kamu bersyukur, niscaya Aku akan menambah (nikmat) kepadamu, tetapi jika kamu mengingkari (nikmat-Ku), sesungguhnya azab-Ku benar-benar sangat keras”

(QS. Ibrahim (14) : 7)

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

HALAMAN PERSEMBAHAN

Ucapan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas segala nikmat serta karunia-Nya sehingga skripsi ini dapat terselesaikan. Sholawat dan salam semoga senantiasa tercurahkan kepada Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat, dan umat beliau hingga akhir zaman. Selanjutnya, karya skripsi ini saya persembahkan untuk:

1. Orang tua dan kakak, yang telah memberikan segala bantuan semangatnya untuk saya, khususnya untuk orang tua pengorbanan sejak saya masih bayi hingga saat ini, tidak lelah bekerja demi pendidikan tinggi putranya.
2. Bapak Drs. Nur Untoro, M.Si., selaku dosen pembimbing skripsi, yang telah sabar dan senantiasa memberikan motivasi, masukan baik kepada saya.
3. Bapak ibu dosen, guru, tenaga pendidik lainnya yang telah memberikan ilmu dan mengajarkan saya ilmu-ilmu baik yang dapat diterapkan dalam kehidupan bermasyarakat nanti.
4. Sahabat, teman, dan rekan seperjuangan saya Pendidikan Fisika angkatan 2021 “Galaxy 21” yang tidak dapat disebutkan satu persatu. Terimakasih atas dukungan, semangat, arahan, motivasi serta bantuan yang telah diberikan kepada saya hingga saya menyelesaikan skripsi ini.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

LEMBAR INTEGRASI INTERKONEKSI KEILMUAN

Pendidikan fisika dalam perspektif Islam tidak hanya dipahami sebagai transfer informasi teoretis, tetapi sebagai proses observasi dan pembuktian terhadap keteraturan alam semesta (*sunnatullah*) yang diciptakan Allah SWT. Fenomena gaya gesek sebagai salah satu hukum mekanika, merupakan manifestasi nyata dari keseimbangan dan interaksi antar materi di alam. Untuk memahami konsep koefisien gesek statis dan kinetis secara mendalam, diperlukan perangkat praktikum yang presisi dan mampu menghadirkan data yang akurat. Pengembangan alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno R3* merupakan langkah inovatif untuk menjembatani pemahaman konseptual peserta didik dengan realitas empiris melalui bantuan teknologi digital modern.

Landasan konseptual mengenai penggunaan alat bantu dan pengamatan ilmiah ini sejalan dengan spirit wahyu pertama dalam Islam, sebagaimana tertuang dalam Al-Qur'an surah Al-'Alaq ayat 1-5:

اقْرَأْ بِاسْمِ رَبِّكَ الَّذِي خَلَقَ ۝١ خَلَقَ الْإِنْسَانَ مِنْ عَلَقٍ ۝٢ اقْرَأْ وَرَبُّكَ الْأَكْرَمُ ۝٣ الَّذِي عَلَّمَ بِالْقَلَمِ ۝٤ عَلَّمَ الْإِنْسَانَ مَا لَمْ يَعْلَمْ ۝٥

Artinya: “Bacalah dengan (menyebut) nama Tuhanmu yang menciptakan. Dia telah menciptakan manusia dari segumpal darah. Bacalah, dan Tuhanmulah Yang Maha Mulia. Yang mengajar (manusia) dengan perantara pena. Dia mengajarkan kepada manusia apa yang tidak diketahuinya.” (QS. Al-'Alaq (96) : 1-5)

Ayat tersebut memberikan isyarat bahwa aktivitas "membaca" (*Iqra*) mencakup observasi terhadap fenomena alam, sementara frasa "mengajar dengan perantara pena" (*allama bi al-qalam*) menegaskan pentingnya penggunaan instrumen atau alat sebagai media dalam memperoleh ilmu. Dalam konteks ini, *Arduino Uno R3* beserta sensor-sensornya dapat dipandang sebagai "pena modern" yang berfungsi sebagai alat bantu untuk mencatat, mengukur, dan menyingkap rahasia alam (gaya gesek) yang sebelumnya sulit diamati secara kasat mata.

Oleh karena itu, pengembangan alat praktikum gaya gesek ini sangat selaras dengan nilai-nilai Islam yang mendorong manusia untuk melakukan penelitian (*tadabbur*) terhadap ciptaan Allah. Sehingga peserta didik dapat melakukan tadabbur alam, yakni merenungi keagungan Allah melalui hukum-hukum fisika. Hal ini diperkuat dalam QS. Ali Imran ayat 191 mengenai karakter *Ulul Albab*:

الَّذِينَ يَذْكُرُونَ اللَّهَ قِيَامًا وَقُعُودًا وَعَلَىٰ جُنُوبِهِمْ وَيَتَفَكَّرُونَ فِي خَلْقِ السَّمٰوٰتِ وَالْاَرْضِ رَبَّنَا
مَا خَلَقْتَ هٰذَا بَاطِلًا سُبْحٰنَكَ فَقِنَا عَذَابَ النَّارِ ﴿١٩١﴾

Artinya: “(yaitu) orang-orang yang mengingat Allah sambil berdiri, duduk, atau dalam keadaan berbaring, dan memikirkan tentang penciptaan langit dan bumi (seraya berkata), “Ya Tuhan kami, tidaklah Engkau menciptakan semua ini sia-sia. Mahasuci Engkau. Lindungilah kami dari azab neraka.” (QS. Ali Imran (3) : 191)

Pengembangan media praktikum ini menjadi sarana bagi peserta didik untuk membuktikan bahwa tidak ada satu pun fenomena alam, termasuk gesekan sekecil apa pun, yang tercipta tanpa perhitungan (*bi husban*). Dengan integrasi sensor digital, proses penentuan koefisien gesek menjadi lebih objektif. Sehingga hubungan antara hukum fisika, nilai keislaman, dan teknologi ini diharapkan mampu melahirkan proses pembelajaran yang tidak hanya meningkatkan keterampilan teknis, tetapi juga memperkuat keyakinan intelektual peserta didik terhadap keagungan penciptaan alam semesta.

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Pengembangan Alat Praktikum Gaya Gesek Berbasis *Arduino Uno R3* untuk Menentukan Koefisien Gesek Statis dan Kinetis”. Skripsi ini dapat selesai karena adanya bantuan, dukungan, dan bimbingan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Sigit Purnama, S.Pd.I., M.Pd., selaku Dekan Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Iva Nandya Atika, S.Pd., M.Ed. selaku Ketua Program Studi Pendidikan Fisika Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Ibu Puspo Rohmi, M.Pd. selaku dosen pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan masukan dengan penuh kesabaran selama peneliti berkuliah di UIN Sunan Kalijaga.
4. Bapak Drs. Nur Untoro, M.Si., selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan, motivasi, dan masukan dengan penuh kesabaran selama proses penyusunan skripsi.
5. Bapak Norma Sidik Risdianto, S.Pd., M.Sc., Ph.D., dan Himawan Putranta, M.Pd., selaku dosen penguji yang telah memberikan kritik, saran, dan masukan dalam penyempurnaan skripsi ini.
6. Ibu Nira Nurwulandari, M.Pd., Bapak Win Indra Gunawan, S.Si., Bapak Ade Kurniawan, S.Si, M.Si, Ph.D., Bapak Joko Purwanto, S.Si., M.Sc., Bapak Ari Cahya Mawardi, M.Pd., Ibu Dr. Ika Kartika, M.Pd.Si., Ibu Puspo Rohmi, M.Pd., Bapak Ashim Septiansyah, S.Si., selaku validator instrumen, validator produk, dan penilaian produk yang telah memberikan arahan dan masukan saran yang membangun dalam penyempurnaan penelitian ini.
7. Seluruh dosen Program Studi Pendidikan Fisika dan staff Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta, yang telah memberikan banyak ilmu selama perkuliahan.

8. Mahasiswa Pendidikan Fisika angkatan 2024 dan 2025 yang telah bekerja sama dan membantu penulis saat proses penelitian di Laboratorium Fisika Dasar UIN Sunan Kalijaga.
9. Chantika Risma Pramudita dan Diana Wahyu Eka Rossalita yang telah bersedia menjadi observer pada penelitian ini.
10. Orang tua penulis yang senantiasa memberikan doa, motivasi, kasih sayang, dan usaha dalam proses penyelesaian skripsi ini.
11. *"We Are the Boys"* yang senantiasa selalu kompak dan saling mensupport satu sama lain selama perkuliahan ini.
12. Segenap teman-teman Program Studi Pendidikan Fisika angkatan 2021 *"Galaxy 21"*, HM-PS Pendidikan Fisika Periode 2023, PLP SMA Muhammadiyah 4 Yogyakarta 2024 dan KKN 114 Kelompok 122, terima kasih sudah memberi banyak pengalaman baik selama peneliti berkuliah di UIN Sunan Kalijaga.
13. Para kurir jasa ekspedisi (SPX Express, J&T, JNE, dan Anteraja), yang telah bekerja keras mengantarkan berbagai komponen elektronik dan kebutuhan penelitian lainnya dari marketplace dengan tepat waktu, sehingga proses perakitan alat praktikum ini dapat berjalan dengan lancar.
14. Serta seluruh pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah turut berkontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan skripsi ini.

Semoga segala bantuan yang telah diberikan kepada penulis menjadi amalan yang bermanfaat dan digantikan berkali lipat lebih baik oleh Allah SWT. Penulis menyadari bahwa penyusunan skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun guna perbaikan di masa mendatang. Semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pengembangan ilmu pendidikan dan penulis sendiri.

Yogyakarta, 10 Juli 2026

Penulis

Brian Isnanto

21104050024



PENGEMBANGAN ALAT PRAKTIKUM GAYA GESEK BERBASIS ARDUINO UNO R3 UNTUK MENENTUKAN KOEFISIEN GESEK STATIS DAN KINETIS

Brian Isnanto

21104050024

INTISARI

Belum tersedianya alat praktikum gaya gesek digital yang presisi serta tingginya potensi kesalahan manusia (*human error*) pada pengukuran manual mendorong perlunya pembaruan alat ukur sudut serta waktu otomatis secara bersamaan. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno*. Hal ini mencakup proses perancangan alat, pengujian kualitas produk berdasarkan penilaian ahli, analisis tingkat akurasi dan presisi pada data hasil percobaan, hingga respon yang diberikan oleh praktikan terkait alat yang dikembangkan.

Metode pengembangan yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model Borg & Gall yang dilakukan sampai tahap kesepuluh (*Dissemination and Implementation*). Subjek penelitian melibatkan validator instrumen dan produk, ahli media, penilai produk menurut para ahli media, mahasiswa Pendidikan Fisika serta observer saat uji coba operasional. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi, lembar penilaian produk, angket respon, lembar observasi, dan lembar analisis data. Teknik pengumpulan data dilakukan melalui validasi ahli, analisis akurasi dan presisi data percobaan, dan penyebaran angket, yang kemudian dianalisis secara kualitatif dan kuantitatif.

Hasil Penelitian menunjukkan bahwa rancangan alat berhasil diimplementasikan dengan kualitas yang sangat baik berdasarkan penilaian para ahli media dengan skor rata-rata 3,45. Hasil uji coba alat menunjukkan tingkat presisi sebesar 92,89% dan akurasi sebesar 87,17% jika dibandingkan dengan nilai gaya gesek referensi. Meskipun tingkat presisi dan akurasi tersebut sudah hampir memenuhi standar SNI ($\geq 95\%$), nilai tersebut masih berada sedikit di bawah ambang batas minimum yang ditetapkan. Respon mahasiswa pada keterlaksanaan uji lapangan utama memperoleh kategori sangat baik dengan skor rata-rata 0,91. Dengan demikian, alat praktikum yang dikembangkan layak untuk digunakan sebagai media praktikum untuk mahasiswa Pendidikan Fisika.

Kata Kunci: *Arduino Uno R3*, Alat Praktikum, Gaya Gesek, Koefisien Gesek, Media Pembelajaran Fisika.

DEVELOPMENT OF AN *ARDUINO UNO R3*-BASED FRICTION FORCE PRACTICUM TOOL TO DETERMINE STATIC AND KINETIC FRICTION COEFFICIENTS

Brian Isnanto

21104050024

ABSTRACT

The lack of precise digital friction force laboratory tools and the high potential for human error in manual measurements necessitate the simultaneous updating of automatic angle and time measuring tools. This study aims to design and implement an *Arduino Uno-based* apparatus for friction experiments. The scope of the study encompasses the design process, product quality assessment by experts, analysis of the accuracy and precision of experimental data, and the feedback provided by students regarding the developed apparatus.

The development method used was Research and Development (R&D) using the Borg & Gall model, which was carried out up to the tenth stage (Dissemination and Implementation). The research subjects included instrument and product validators, media experts, product assessors according to media experts, Physics Education students, and observers during the operational field test. The research instruments included validation sheets, product assessment sheets, response questionnaires, observation sheets, and data analysis sheets. Data collection techniques included expert validation, analysis of the accuracy and precision of experimental data, and questionnaire distribution, which were then analyzed qualitatively and quantitatively.

The research results show that the tool design was successfully implemented with excellent quality based on the assessment of media experts with an average score of 3.45. The results of the tool trial showed a precision level of 92.89% and an accuracy of 87.17% when compared to the reference friction force value. Although the precision and accuracy levels have almost met the SNI standard ($\geq 95\%$), the value is still slightly below the minimum threshold set. Student responses to the implementation of the main field test obtained a very good category with an average score of 0.91. Thus, the developed practicum tool is suitable for use as a practicum medium for Physics Education students.

Keywords: *Arduino Uno R3*, Practicum Tool, Friction Force, Friction Coefficient, Physics Learning Media.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
SURAT PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	iv
MOTTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
LEMBAR INTEGRASI INTERKONEKSI KEILMUAN	vii
KATA PENGANTAR.....	ix
INTISARI	xii
ABSTRACT	xiii
DAFTAR ISI.....	xiv
DAFTAR TABEL	xvi
DAFTAR GAMBAR.....	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang Masalah	1
B. Identifikasi Masalah.....	6
C. Batasan Masalah	7
D. Rumusan Masalah.....	7
E. Tujuan Penelitian	7
F. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan	8
G. Manfaat Penelitian	8
H. Keterbatasan Pengembangan	9
I. Definisi Istilah.....	9
BAB II KAJIAN PUSTAKA	Error! Bookmark not defined.
A. Kajian Teori.....	Error! Bookmark not defined.
B. Penelitian yang Relevan.....	Error! Bookmark not defined.
C. Kerangka Berpikir.....	Error! Bookmark not defined.
BAB III METODE PENELITIAN	Error! Bookmark not defined.

A.	Model Pengembangan.....	Error! Bookmark not defined.
B.	Prosedur Pengembangan.....	Error! Bookmark not defined.
C.	Uji Coba Produk	Error! Bookmark not defined.
D.	Teknik Analisis Data	Error! Bookmark not defined.
BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		Error! Bookmark not defined.
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		116
A.	Kesimpulan	116
B.	Keterbatasan Penelitian.....	117
C.	Saran Pemanfaatan dan Pengembangan Produk	117
DAFTAR PUSTAKA		119
LAMPIRAN-LAMPIRAN		Error! Bookmark not defined.



DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Koefisien Gesek Antara Beberapa Bahan Material	26
Tabel 2. 2 Spesifikasi Arduino Uno R3.....	33
Tabel 2. 3 Spesifikasi Sensor IR FC-51	39
Tabel 2. 4 Spesifikasi MPU-6050	44
Tabel 3. 1 RAB Pengembangan Produk.....	54
Tabel 3. 2 Perkiraan Tenaga dan Waktu	55
Tabel 3. 3 Tabel Analisa Data Percobaan Gesek Statis	66
Tabel 3. 4 Tabel Analisa Data Percobaan Gesek Kinetis	67
Tabel 3. 6 Ketentuan Pemberian Skor Penilaian Produk	70
Tabel 3. 7 Kriteria Penilaian Produk oleh Ahli Media	71
Tabel 3. 8 Ketentuan Pemberian Skor Penilaian Mahasiswa/Praktikan	71
Tabel 3. 9 Kriteria Penilaian Produk oleh Mahasiswa/Praktikan.....	72
Tabel 3. 10 Ketentuan Pemberian Skor Respon Mahasiswa/Praktikan	73
Tabel 3. 11 Kriteria Penilaian Produk Berdasarkan Respon Mahasiswa/Praktikan..	74
Tabel 3. 12 Ketentuan Pemberian Skor Observasi Asisten (Observer).....	74
Tabel 3. 13 Kriteria Keterlaksanaan Berdasarkan Observer	75
Tabel 4. 1 Hasil Presisi Gesek Statis pada Permukaan Kayu.....	93
Tabel 4. 2 Hasil Presisi Gesek Statis pada Permukaan Akrilik	93
Tabel 4. 3 Hasil Presisi Gesek Kinetis pada Permukaan Kayu.....	94
Tabel 4. 4 Hasil Presisi Gesek Kinetis pada Permukaan Akrilik	94
Tabel 4. 5 Hasil Akurasi Gesek Statis pada Permukaan Kayu.....	95
Tabel 4. 6 Hasil Akurasi Gesek Statis pada Permukaan Akrilik	95
Tabel 4. 7 Hasil Akurasi Gesek Kinetis pada Permukaan Kayu	96
Tabel 4. 8 Hasil Akurasi Gesek Kinetis pada Permukaan Akrilik.....	96
Tabel 4. 9 Hasil Pengukuran Akurasi Sudut Kemiringan antara Counter dengan Inclinometer	96
Tabel 4. 10 Hasil Pengukuran Akurasi Waktu antara Counter dengan Stopwatch.....	97
Tabel 4. 11 Saran dari Validator Produk.....	98
Tabel 4. 12 Saran dari Validator Ahli Media	99

Tabel 4. 13 Saran dari Dosen Pendidikan Fisika dan PLP	102
Tabel 4. 14 Perbandingan Akurasi Gaya Gesek Berdasarkan Jenis Permukaan ..	115
Tabel 4. 15 Hasil Penilaian Produk oleh Dosen Pendidikan Fisika dan PLP	100
Tabel 4. 16 Data Respon Mahasiswa Preliminary Field Test.....	103
Tabel 4. 17 Data Respon Mahasiswa Main Field Test	104
Tabel 4. 18 Data Respon Observer dan Keterlaksanaan Uji Coba Alat	105



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Perbedaan Akurasi dan Presisi pada Papan Dart.....	19
Gambar 2. 2 Gaya Gesek pada Bidang Datar	20
Gambar 2. 3 Gaya Normal pada Bidang Datar	23
Gambar 2. 4 Gaya Normal pada Bidang Miring.....	24
Gambar 2. 5 Alat Praktikum Gaya Gesek Berbasis Arduino Uno	27
Gambar 2. 6 Papan Lintasan saat dimiringkan	28
Gambar 2. 7 Sample Balok	28
Gambar 2. 8 Ilustrasi Percobaan Gesek Statis	29
Gambar 2. 9 Ilustrasi Percobaan Gesek Kinetis.....	31
Gambar 2. 10 Arduino Uno R3 Tampak Depan.....	33
Gambar 2. 11 Arduino Uno R3 Tampak Belakang	33
Gambar 2. 12 Tampilan Aplikasi Arduino IDE.....	34
Gambar 2. 13 IR Transmitter	38
Gambar 2. 14 IR Receiver.....	38
Gambar 2. 15 Sensor Infrared FC-51	39
Gambar 2. 16 Cara Kerja Sensor IR.....	40
Gambar 2. 17 Cara Kerja Sensor IR.....	41
Gambar 2. 18 Posisi Sensor IR	41
Gambar 2. 19 Gyroscope Rotation.....	42
Gambar 2. 20 Accelerometer.....	43
Gambar 2. 21 Sensor MPU-6050.....	44
Gambar 2. 22 LCD 20×4.....	45
Gambar 2. 23 Bagan Kerangka Berpikir.....	50
Gambar 3. 1 Desain Alat Praktikum Gaya Gesek	57
Gambar 3. 2 Bagan Prosedur Penelitian Pengembangan	62
Gambar 4. 1 Alat Praktikum Gaya Gesek Berbasis Arduino Uno	76
Gambar 4. 2 Rangkaian Sensor IR FC-51.....	77
Gambar 4. 3 Rangkaian 2 Sensor IR FC-51 untuk Mengukur Waktu Otomatis...	79
Gambar 4. 4 Rangkaian Sensor MPU-6050.....	80

Gambar 4. 5 Rangkaian Sensor MPU-6050 untuk Mengukur Sudut Kemiringan ...	82
Gambar 4. 6 Counter pada Alat Praktikum	83
Gambar 4. 7 Skema Rangkaian Counter	83
Gambar 4. 8 Papan Lintasan Benda	85
Gambar 4. 9 Posisi Sensor IR FC-51	86
Gambar 4. 10 Posisi Sensor MPU-6050	86
Gambar 4. 11 Busa Pelindung Benda.....	87
Gambar 4. 12 Serat Kasar pada Permukaan Kayu	88
Gambar 4. 13 Sistem Pengangkat Lintasan.....	88
Gambar 4. 14 Sudut Kemiringan lintasan 10 derajat pada: (a) Counter (b) Inclinator ..	89
Gambar 4. 15 Sudut Kemiringan lintasan 20 derajat pada: (a) Counter (b) Inclinator .	90
Gambar 4. 16 Sudut Kemiringan lintasan 30 derajat pada: (a) Counter (b) Inclinator .	90
Gambar 4. 17 Sudut Kemiringan lintasan 40 derajat pada: (a) Counter (b) Inclinator .	91
Gambar 4. 18 Sudut Kemiringan lintasan 50 derajat pada: (a) Counter (b) Inclinator .	91
Gambar 4. 19 Cover Buku Panduan Alat Praktikum	92

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Kemajuan teknologi pada era Revolusi Industri 4.0 mendorong perkembangan dunia elektronika yang semakin pesat, ditandai dengan kemunculan berbagai teknologi baru yang berpengaruh signifikan terhadap kehidupan manusia. Inovasi dalam bidang komponen elektronika tidak hanya ditinjau dari segi efisiensi dan fungsi, tetapi juga dari manfaat serta karakteristik fisiknya sehingga memungkinkan pengembangan alat-alat yang lebih canggih dan multifungsi. Pemanfaatan teknologi elektronika, khususnya dalam bidang pendidikan, berpotensi menghasilkan perangkat pembelajaran yang membantu peserta didik memahami konsep sains melalui kegiatan praktikum, seperti eksperimen yang memanfaatkan sensor dan mikrokontroler (Minardi et al., 2023). Penggunaan alat berbasis mikrokontroler dalam praktikum juga mendukung pengembangan keterampilan abad ke-21, seperti literasi digital dan kemampuan analisis data berbasis digital.

Kegiatan praktikum merupakan komponen penting dalam pembelajaran fisika karena memungkinkan peserta didik memahami konsep-konsep abstrak melalui pengalaman langsung. Fenomena-fenomena fisika dalam kehidupan sehari-hari dapat dikaji secara lebih mendalam melalui percobaan yang dilakukan secara sistematis. Seperti yang ditegaskan oleh Trianto (2010), bahwa hakikat fisika adalah ilmu yang mempelajari pengetahuan tentang fenomena melalui serangkaian proses yang disebut proses ilmiah yang dibangun atas dasar sikap ilmiah dan hasilnya terwujud sebagai produk ilmiah berupa konsep, prinsip, dan teori yang berlaku umum. Oleh karena itu, melalui kegiatan praktikum peserta didik akan melakukan proses mengamati, menganalisis, membuktikan dan menarik kesimpulan suatu objek dari teori yang dipelajari tentang fenomena fisika dalam kehidupan sehari-hari.

Meskipun kegiatan praktikum sangat penting, pada kenyataannya praktikum gaya gesek masih kurang dipraktikkan di perguruan tinggi karena

tingkat kesulitan yang tinggi dalam pelaksanaan percobaannya. Keterbatasan alat yang presisi menyebabkan percobaan ini sering kali gagal menghasilkan data yang konsisten, sehingga banyak laboratorium perguruan tinggi tidak menjadikannya sebagai praktikum yang rutin dilakukan. Hal ini juga terjadi pada Praktikum Fisika Dasar I di Laboratorium Fisika Dasar UIN Sunan Kalijaga, di mana pelaksanaan praktikum sebenarnya sudah berjalan dengan baik karena didukung oleh manajemen laboratorium yang terstruktur. Pada Praktikum Fisika Dasar I terdapat praktikum sebanyak 8 kali atau 8 judul praktikum, antara lain: Pengukuran, Hukum II Newton, Pendulum Reversibel, Hukum Hooke, Hukum Boyle, Ekspansi Udara, Konduktivitas Termal dan Momen Inersia. Selain kedelapan judul tersebut, terdapat pula topik praktikum gaya gesek yang secara konsep merupakan pengembangan dari materi Hukum II Newton. Berdasarkan wawancara dengan Pranata Laboratorium Fisika Dasar, praktikum gaya gesek pernah dilaksanakan satu kali pada tahun 2010. Namun, praktikum tersebut tidak dilanjutkan karena keterbatasan alat yang tersedia, sehingga tingkat ketelitian pengukuran gaya gesek belum optimal.

Pemahaman mengenai gaya gesek merupakan hal yang penting mengingat penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Gaya gesek adalah gaya yang muncul jika permukaan dua benda yang saling bersentuhan secara fisik. Secara umum, gaya gesek diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu gaya gesek statis dan gaya gesek kinetis. Gaya gesek statis terjadi pada dua permukaan benda yang diam satu sama lain, seperti benda yang diletakkan di atas lantai. Sebaliknya, gaya gesek kinetis terjadi ketika dua permukaan benda saling bergerak atau bergeser. Pengaplikasian gaya gesek ini memberikan banyak manfaat bagi manusia, terutama dalam sektor industri dan sistem keamanan (Hardiansyah, 2021).

Menurut Yuliani, et al (2022), penentuan koefisien gesekan dapat dilakukan melalui tiga metode utama, yaitu penggunaan balok dengan katrol pada bidang datar, balok yang meluncur tanpa katrol pada bidang miring, serta balok dengan katrol pada bidang miring. Penelitian ini secara khusus mengembangkan alat praktikum yang mengacu pada metode kedua, yakni

balok yang meluncur pada bidang miring tanpa bantuan katrol. Pemilihan jenis kedua ini didasarkan pada keunggulannya dalam menyederhanakan variabel pengamatan, sehingga praktikan dapat fokus sepenuhnya pada interaksi antara permukaan benda dan kemiringan bidang. Selain itu, metode tanpa katrol meminimalisir gaya luar tambahan (seperti gaya tarik beban gantung), yang memungkinkan pengukuran gaya gesek statis dan kinetis dilakukan secara lebih murni.

Secara matematis, penentuan koefisien gesek pada bidang miring dapat dianalisis menggunakan prinsip Hukum II Newton. Ketika sebuah benda diletakkan pada bidang miring dan sudut kemiringan diperbesar secara perlahan hingga benda tepat mulai bergerak, kondisi tersebut menunjukkan bahwa gaya gesek statis maksimum telah tercapai. Sehingga berlaku hubungan matematis $\mu_s = \tan \theta$, di mana θ merupakan sudut kemiringan bidang saat benda mulai bergerak (Haliday et al., 2010). Hubungan ini menunjukkan bahwa dalam mengukur sudut kemiringan sangat menentukan nilai koefisien gesek statis yang diperoleh. Sementara itu, koefisien gesek kinetis dapat ditentukan melalui analisis percepatan benda yang meluncur di sepanjang bidang miring setelah bergerak. Percepatan tersebut dapat dihitung berdasarkan waktu tempuh dan jarak lintasan benda. Sehingga, ketepatan pengukuran sudut kemiringan dan waktu tempuh secara langsung memengaruhi hasil perhitungan koefisien gesek, baik statis maupun kinetis dalam kegiatan praktikum.

Namun demikian, pelaksanaan praktikum gaya gesek masih menghadapi berbagai kendala teknis. Penelitian Astro, et al. (2021) di Universitas Flores mengungkapkan bahwa praktikan mengalami kesulitan dalam menentukan koefisien gesek kinetis karena keterbatasan dalam pengoperasian *Stopwatch* secara presisi. Praktikan harus mengamati gerak benda sekaligus mengukur waktu tempuh, sehingga hasil pengukuran rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*). Selain itu, pada penentuan koefisien gesek statis, praktikan sering mengalami kesulitan dalam menentukan sudut kemiringan ketika benda tepat akan bergerak, akibat ketidakstabilan papan lintasan dan pengaturan sudut yang masih dilakukan secara manual. Kesulitan-kesulitan teknis inilah

yang menyebabkan praktikum gaya gesek menjadi rumit dan sulit memperoleh data yang konsisten.

Pada umumnya, kegiatan praktikum di laboratorium masih mengandalkan metode pengukuran manual yang memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan efisiensi waktu. Penggunaan alat ukur yang kurang presisi dapat menghambat keterampilan proses ilmiah mahasiswa serta berpotensi menimbulkan miskonsepsi. Selain itu, prosedur pengukuran manual yang rumit sering kali menurunkan minat belajar mahasiswa karena sulitnya memperoleh data yang konsisten. Oleh karena itu, diperlukan inovasi alat ukur berbasis teknologi yang mampu memberikan hasil pengukuran yang lebih akurat dan praktis, salah satunya melalui penggunaan alat berbasis elektronik dengan tampilan digital (Yuliani et al., 2022).

Kesalahan pengukuran juga sering terjadi akibat kurang tepatnya penggunaan alat ukur oleh praktikan. Sari dan Saputri (2016) menyebutkan bahwa masih banyak mahasiswa yang belum tepat dalam menggunakan alat ukur, seperti jangka sorong maupun *Stopwatch*. Kesalahan serupa juga ditemukan pada Praktikum Fisika Dasar I, khususnya pada percobaan Konduktivitas Termal. Berdasarkan wawancara dengan asisten praktikum, kesalahan terjadi akibat ketidaksinkronan praktikan saat menekan tombol *start* dan *stop*, baik karena keterlambatan reaksi maupun kurangnya koordinasi antar anggota kelompok. Hal ini menunjukkan perlunya penggunaan teknologi berbasis sensor dan mikrokontroler untuk menggantikan metode pengukuran manual, terutama pada praktikum yang membutuhkan respon cepat seperti gaya gesek (Mardiansyah et al., 2022).

Sebagai upaya untuk meminimalkan kesalahan pengukuran waktu akibat keterbatasan respon manusia, diperlukan suatu sistem pengukuran waktu yang bekerja secara otomatis dan terintegrasi dengan pergerakan objek. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah penggunaan mikrokontroler yang diintegrasikan dengan sensor sebagai *Stopwatch* otomatis (Sukindar et al., 2017), di mana proses pencatatan waktu dimulai dan dihentikan secara langsung oleh deteksi sensor tanpa intervensi manual praktikan. Dengan sistem

ini, pengukuran waktu tempuh benda dapat dilakukan secara lebih presisi, konsisten, dan objektif, sehingga kesalahan akibat keterlambatan reaksi maupun ketidaksinkronan antar praktikan dapat diminimalkan.

Seiring dengan perkembangan teknologi, alat praktikum tidak hanya dikembangkan dalam bentuk perangkat lunak, tetapi juga perangkat keras berbasis mikrokontroler. Salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan alat praktikum adalah *Arduino Uno*. *Arduino Uno* merupakan papan rangkaian elektronik yang memiliki 20 pin, terdiri dari 14 pin *Input/output* digital dan 6 pin *Input* analog, serta dilengkapi dengan osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, jack daya, ICSP, dan tombol *reset*. *Arduino Uno* memiliki keunggulan berupa harga yang terjangkau, kemudahan pemrograman, serta kemampuan menghasilkan data yang cukup akurat, sehingga berpotensi dikembangkan sebagai alat praktikum fisika (Haris & Lizelwati, 2017). Penelitian Deliana dan Sugianto (2020) tentang analisis kebutuhan pengembangan alat praktikum koefisien gaya gesek berbasis *Arduino* menunjukkan bahwa pengembangan alat praktikum gaya gesek secara manual menjadi berbasis *Arduino* sangat diperlukan agar pemahaman peserta didik tentang materi dan konsep fisika meningkat.

Pengembangan alat praktikum gaya gesek berbasis mikrokontroler telah dilakukan oleh beberapa peneliti terdahulu, baik yang mengukur hanya salah satu parameter sudut kemiringan atau waktu tempuh secara terpisah (Manuhutu et al., 2023; Mundiahi et al., 2025) maupun yang sudah mengintegrasikannya dalam satu sistem (Pramudya et al., 2020). Namun, pada penelitian Pramudya et al. (2020), pengujian instrumen masih terbatas pada analisis tingkat presisi dan belum menguji serta melaporkan tingkat akurasi alat ukur maupun akurasi hasil percobaan secara komprehensif. Padahal, pengujian akurasi sangat penting dilakukan untuk memastikan bahwa data sudut dan waktu yang terukur benar-benar mendekati nilai teoritis atau standar. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan alat praktikum gaya gesek berbasis mikrokontroler yang mampu mengukur parameter sudut dan waktu secara terintegrasi, sekaligus

telah teruji tingkat presisi dan akurasinya untuk menghasilkan data eksperimen yang lebih valid dalam pembelajaran fisika.

Berdasarkan uraian tersebut, diperlukan suatu penelitian dengan judul **“Pengembangan Alat Praktikum Gaya Gesek Berbasis *Arduino Uno R3* untuk Menentukan Koefisien Gesek Statis dan Kinetis”**. Alat praktikum yang dikembangkan berupa bidang miring yang dilengkapi dengan instrumen pengukur berbasis *Arduino Uno* yang mampu mengukur sudut kemiringan dan waktu perpindahan benda secara otomatis. Data hasil pengukuran akan ditampilkan pada LCD untuk memudahkan pengguna dalam pembacaan data. Diharapkan alat praktikum ini dapat menghasilkan data yang lebih akurat, membantu praktikan dalam memahami konsep gaya gesek, serta meningkatkan antusiasme mahasiswa dalam kegiatan praktikum fisika. Selain itu, pengembangan alat ini juga diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pengembangan media praktikum fisika berbasis teknologi yang lebih modern dan terintegrasi, sehingga dapat menjadi alternatif inovatif dalam meningkatkan kualitas dan efektivitas kegiatan praktikum di perguruan tinggi.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan, dapat diidentifikasi masalah-masalah sebagai berikut:

1. Alat praktikum gaya gesek yang pernah digunakan masih bersifat manual sehingga tingkat ketelitian pengukuran koefisien gesek statis dan kinetis belum optimal.
2. Pengukuran waktu tempuh benda pada praktikum gaya gesek masih menggunakan *Stopwatch* manual yang rentan terhadap kesalahan manusia (*human error*), terutama akibat keterlambatan reaksi praktikan.
3. Praktikan mengalami kesulitan dalam menentukan sudut kemiringan bidang saat benda tepat akan bergerak karena pengaturan sudut lintasan masih dilakukan secara manual dan kurang stabil.

C. Batasan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang sudah dijelaskan di atas, penelitian ini dibatasi pada permasalahan berikut:

1. Meskipun terdapat tiga metode dalam percobaan gaya gesek, metode yang digunakan dalam pengembangan ini berfokus pada percobaan gaya gesek pada bidang miring.
2. Alat ini memanfaatkan mikrokontroler *Arduino Uno* untuk melakukan pengukuran sudut dan waktu secara otomatis.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang pada penelitian ini, maka dapat dirumuskan sebagai berikut, antara lain:

1. Bagaimana rancangan alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* yang dapat mengukur sudut dan waktu secara otomatis?
2. Bagaimana kualitas alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* yang dikembangkan berdasarkan penilaian ahli?
3. Bagaimana tingkat akurasi dan presisi data percobaan yang dihasilkan oleh alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno*?
4. Bagaimana respon mahasiswa/praktikan terhadap alat praktikum yang dikembangkan?

E. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini, yaitu sebagai berikut:

1. Merancang alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* yang dapat mengukur sudut dan waktu secara otomatis.
2. Mengetahui kualitas alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* yang dikembangkan berdasarkan penilaian ahli.
3. Mengetahui tingkat akurasi dan presisi data percobaan yang dihasilkan oleh alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno*.
4. Mengetahui respon mahasiswa/praktikan terhadap alat praktikum yang dikembangkan.

F. Spesifikasi Produk yang Dikembangkan

Produk yang dikembangkan pada penelitian ini merupakan alat praktikum gaya gesek dengan membuat alat pencatatan waktu dan sudut otomatis berbasis *Arduino Uno* sebagai pengganti penggunaan *Stopwatch* manual (menghitung waktu) dan busur (menghitung sudut) pada praktikum gaya gesek. Produk yang akan dikembangkan memiliki spesifikasi sebagai berikut:

1. Alat praktikum yang dikembangkan berupa alat praktikum gaya gesek terdapat 2 mode (percobaan), yakni mode gesek statis dan mode gesek kinetis.
2. Alat praktikum gaya gesek menggunakan 2 buah Sensor *Infrared (IR) Proximity FC-51* sebagai pengukur waktu otomatis dengan mendeteksi pergerakan benda dari titik *start* hingga *finish* pada mode gesek kinetis.
3. Alat praktikum gaya gesek menggunakan Sensor *MPU-6050* sebagai pengukur sudut otomatis pada mode gesek statis dan kinetis.
4. Dapat mengukur waktu dengan skala terkecil 0,001 sekon atau 1 mili sekon.
5. Dapat mengukur sudut kemiringan dengan skala pengukuran terkecil 1° atau 1 derajat.
6. Papan lintasan memiliki panjang dan lebar yang berukuran 100 x 20 cm sehingga memungkinkan melakukan dilakukannya praktikum gaya gesek, serta dapat diatur sudut kemiringan lintasan sampai 50°.
7. Pengubahan sudut kemiringan papan lintasan dapat diangkat secara *continue* dengan pergerakan yang halus atau lembut menggunakan katrol.
8. Bidang lintasan (sample permukaan) dapat diganti-ganti.
9. Terdapat 2 tombol, yakni *push button Setting mode* dan *reset*.

G. Manfaat Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat-manfaat, antara lain :

1. Bagi Laboratorium Fisika Dasar, alat praktikum yang dikembangkan dapat digunakan untuk praktikum gaya gesek di Laboratorium.
2. Bagi mahasiswa, dengan adanya alat praktikum yang dikembangkan dapat menambah pemahaman, pengalaman dan mempermudah dalam memahami proses praktikum gaya gesek.
3. Bagi peneliti lain, sebagai informasi untuk mengadakan penelitian lebih lanjut dan dapat menjadi pertimbangan untuk dijadikan rujukan pengembangan selanjutnya.

H. Keterbatasan Pengembangan

Penelitian pengembangan ini dilakukan selesai sampai pada tahap kesepuluh yaitu diseminasi dan implementasi (*Dissemination and Implementation*) (Borg and Gall, 2003).

I. Definisi Istilah

Istilah-istilah yang digunakan pada penelitian dan pengembangan ini yaitu :

1. *Arduino Uno R3* adalah papan mikrokontroler berbasis ATmega328, yang digunakan untuk mengembangkan perangkat elektronik dan *software* dengan mudah. *Arduino Uno R3* ini dapat dihubungkan ke komputer dengan kabel USB atau mensuplai daya dengan adaptor AC-DC atau baterai untuk menghidupkannya.
2. Mikrokontroler adalah sebuah komputer kecil yang dikemas dalam bentuk *chip* berupa IC (*Integrated Circuit*) dan berfungsi sebagai pengontrol rangkaian elektronik dan dapat menyimpan program didalamnya.
3. LCD adalah suatu jenis layar panel yang menggunakan kristal cair dalam penampil utama.
4. Sensor *Infrared* adalah perangkat elektronik yang dapat mendeteksi radiasi inframerah disekitarnya. Sensor ini menggunakan dua komponen, yaitu pemancar inframerah dan penerima inframerah.

5. Sensor *Accelerometer and Gyroscope* adalah sensor yang digunakan untuk mendeteksi gerakan dan posisi sudut.
6. Papan Lintasan adalah papan yang dipasang pada bidang miring dan dapat diganti-ganti.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diperoleh dari penelitian pengembangan ini adalah sebagai berikut:

1. Hasil produk yang dikembangkan berupa alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* yang dapat mengukur sudut dan waktu secara otomatis beserta buku panduan praktikum dan *manual book* pada praktikum gaya gesek di Laboratorium Fisika Dasar UIN Sunan Kalijaga telah berhasil dikembangkan melalui prosedur penelitian pengembangan model R&D (*Research and Development*) dengan model *Borg and Gall* yang dilakukan sampai tahap kesepuluh yaitu *Dissemination and Implementation*.
2. Kualitas alat yang dikembangkan termasuk dalam kategori Sangat Baik (SB) berdasarkan penilaian produk dari ahli media dengan nilai rata-rata 3,45. Dengan skor 3,35 untuk alat praktikum dan skor 3,56 untuk buku panduan praktikum.
3. Hasil pengujian tingkat presisi alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* sebesar 92,89% dan tingkat akurasi alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* sebesar 87,17. Meskipun tingkat presisi dan akurasi tersebut berada pada rentang yang mendekati ambang batas SNI ($\geq 95\%$), nilai ini belum sepenuhnya memenuhi standar yang ditentukan. Namun dari hasil pengujian alat ukur untuk akurasi sudut dan waktu memiliki hasil akurasi masing-masing sebesar 96,62% dan 99,79%, yang termasuk dalam kategori tinggi karena telah memenuhi standar SNI.
4. Respon mahasiswa/praktikan dalam angket menunjukkan bahwa mahasiswa setuju dengan pengembangan produk ini, dengan skor 0,91 untuk respon alat praktikum gaya gesek. Sedangkan keterlaksanaan dalam kegiatan praktikum pada *operational field testing* berdasarkan lembar observer didapati bahwa kegiatan praktikum berjalan dengan lancar dan

alat yang dikembangkan dapat berjalan tanpa kendala, serta terdapat keterlaksanaan uji coba alat sebesar 100%.

B. Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan terkait kelemahan pada alat yang dikembangkan. Balok penyangga alat belum dapat dilipat, yang berdampak pada kepraktisan saat penyimpanan dan pemindahan alat. Dari sisi keandalan sensor, sensor IR FC-51 masih memerlukan penyesuaian ulang secara berkala sebelum digunakan akibat rentang jarak deteksinya yang tidak stabil. Selain itu, tingkat akurasi pengukuran sudut juga masih perlu ditingkatkan karena masih ditemukan selisih sebesar $1-2^\circ$ antara pembacaan *counter* dan inclinometer. Penelitian ini masih terbatas pada variasi sampel uji yang digunakan untuk menentukan koefisien gesek, sehingga pengujian belum dilakukan secara mendalam pada beberapa jenis sampel dari material yang sama tetapi memiliki karakteristik permukaan berbeda, seperti berbagai variasi atau jenis kayu.

C. Saran Pemanfaatan dan Pengembangan Produk

1. Saran Pemanfaatan

Produk berupa alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* diharapkan dapat digunakan di laboratorium Fisika Dasar, untuk memfasilitasi mahasiswa mempelajari dan memahami fenomena gaya gesek dengan melakukan eksperimen atau percobaan secara langsung.

2. Saran Pengembangan

Produk berupa alat praktikum gaya gesek berbasis *Arduino Uno* ini terdapat kesulitan dan kekurangan yang belum bisa peneliti lakukan yaitu: alat tidak bisa dilipat pada balok penyangga untuk memudahkan dalam memindahkan dan menyimpannya. Peneliti berharap bahwa jika ada mahasiswa atau dosen yang berkeinginan melanjutkan penelitian tentang pengembangan ini bisa lebih dikembangkan lebih baik lagi dengan memperhatikan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi pada alat praktikum,

ataupun penelitian untuk menentukan koefisien gesek berdasarkan beberapa jenis sample yang sama, contohnya pada jenis-jenis kayu yang memiliki koefisien gesek yang berbeda-beda.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdurrahman. (2024). Tanggapan mahasiswa tentang pengaruh media gambar terhadap hasil belajar peserta didik. *Journal Transformation of Mandalika*, 3(9), 80–85. <https://doi.org/https://doi.org/10.36312/jtm.v3i9.2607>
- Ammalia, N. R., Zahriah, Z., & Meutiawati, I. (2024). Desain media pembelajaran berbasis audio visual untuk tingkat SMA/MA pada pokok bahasan induksi elektromagnetik. *Phi : Jurnal Pendidikan Fisika dan Terapan*, 10(1), 21–27. <https://doi.org/10.22373/p-jpft.v10i1.20268>
- Astro, R. B., Doa, H., & Meke, K. D. P. (2021). Pengembangan petunjuk praktikum gaya gesek di bidang miring berbasis video tracking untuk meningkatkan minat mahasiswa. *ORBITA: Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 7(2), 335–335. <https://doi.org/10.31764/orbita.v7i2.5808>
- Deliana, H., & Sugianto, S. (2020). Analisis kebutuhan pengembangan design alat praktikum koefisien gaya gesek berbasis Arduino. *Prosiding Seminar Pendidikan Fisika FITK ...*, (Query date: 2024-10-10 06:34:25). <https://ojs.unsiq.ac.id/index.php/semnaspf/article/view/1427>
- Djamarah, S. B., & Zain, A. (2010). *Strategi belajar mengajar*. Jakarta: PT. Rineka Cipta.
- Fatullah, F. F. (2022). Protokol komunikasi I2C dengan menggunakan sensor MPU6050 untuk get data X accelerometer. *Repoteknologi.id*, 11(1), 1–9.
- Febriyana, M. M., Fitriani, A., & Saraswati, D. L. (2022). Analisis eksperimen gaya gesek benda pada bidang miring berbasis Logger Pro. *Prosiding Seminar Nasional Sains*, 3(1). <https://proceeding.unindra.ac.id/index.php/sinasis/article/view/5997>
- Fitrianto, M. B., Darmanto, D., & Syafa'at, I. (2015). Pengujian koefisien gesek permukaan plat baja St 37 pada bidang miring terhadap viskositas pelumas dan kekasaran permukaan. *Majalah Ilmiah Momentum*, 11(1), Article 1. <https://doi.org/10.36499/jim.v11i1.1076>
- Gall, M. D., Borg, W. R., & Gall, J. P. (2003). *Educational research: An introduction*. Longman Publishing. <https://psycnet.apa.org/record/1996-97171-000>
- Haliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2010). *Fisika dasar edisi 7 jilid 1*. Jakarta: Erlangga.
- Hardiansyah, I. W. (2021). Penerapan gaya gesek pada kehidupan manusia. *INKUIRI: Jurnal Pendidikan IPA*, 10(1). <https://doi.org/10.20961/inkui.v10i1.44531>

- Haris, V., & Lizelwati, N. (2017). Pembuatan set eksperimen untuk menentukan koefisien kinetik dan koefisien restitusi. *Sainstek: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 8(1), 38–49.
- Hibbeler, R. C. (2016). *Engineering Mechanics: Statics*. Pearson Education.
- Humairo, S., Astro, R. B., Mufida, D. H., & Viridi, S. (2018). Analisis koefisien gesek statis dan kinetis berbagai pasangan permukaan bahan pada bidang miring menggunakan aplikasi analisis video tracker. *Seminar Nasional Quantum*, 25(2018), 2477–1511.
- Iryani, N., Briantoro, H., & Asmara, E. D. (2023). Sistem pembaca sensor gyroscope untuk Menampilkan nilai rpm, gyro, dan kemiringan berbasis IOT. *Jurnal Mahasiswa Institut Teknologi Telkom Surabaya*.
- Kusmadi, K., & Sidik, N. T. (2020). Rancang bangun sistem peringatan dini banjir dengan menggunakan Arduino Uno dan monitoring level ketinggian air pada PC dengan aplikasi Visual Basic. *Infotronik: Jurnal Teknologi Informasi Dan Elektronika*, 5(1), 17–23.
- Kusuma, A. Y., Pratikno, H., & Puspasari, I. (2020). Rancang bangun alat pelipat baju otomatis menggunakan Arduino Uno. *Journal of Control and Network Systems: Universitas Dinamika*, 9(2), 8–18.
- Kusumawardani, N. M. D. N., Yuliastini, N. K. S., Dwi Sri Rahayu, & Sari, N. K. K. U. (2022). *Pemanfaatan jenis-jenis media BK di sekolah pada pembelajaran daring*. <https://doi.org/10.5281/ZENODO.6390878>
- Mahendra, A., Prahani, B. K., & Kurtuluş, M. A. (2025). Development of interactive physics learning website based on STEAM approach to increase student learning motivation in optics chapter. *Journal of Digitalization in Physics Education*, 000003–000003. <https://doi.org/10.26740/jdpe.v1i1.38994>
- Manuhutu, F., Kesaulya, N., & Rachman, G. (2023). Perancangan alat penentuan koefisien gesek statis menggunakan sensor IR FC-51 dan Potensiometer berbasis Arduino Uno. *PHYSIKOS Journal of Physics and Physics Education*, 2(1), 37–43. <https://doi.org/10.30598/physikos.2.1.9326>
- Mardiansyah, Y., Rahman, T., Hernando, L., & Meldra, D. (2022). Rancang bangun praktikum gerak menggelinding pada bidang miring berbasis sensor Arduinomikro untuk menentukan konstanta inersia. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 10(1), 62–73.
- Minardi, S., Wirawan, R., Kurniawidi, D. W., Rahayu, S., Budianto, A., Mardiana, L., Utami, I., & Mariadi, D. (2023). Penguatan materi fisika dasar menggunakan alat peraga kit sederhana berbasis mikrokontroler Arduino

- Uno di Man 1 Selong, Kabupaten Lombok Timur. *Jurnal Abdi Insani*, 10(4), 2669–2678.
- Mundiahi, O. P., Loding, I. E. A., 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 (JLPF)*, 6(2), 103–113. <https://doi.org/10.30872/jlpf.v6i2.4928>
- Murdani, E. (2020). Hakikat Fisika dan Keterampilan Proses Sains. *Jurnal Filsafat Indonesia*, 3(3), 72–80. <https://doi.org/10.23887/jfi.v3i3.22195>
- Ningrum, N. T. H., & Subali, B. (2025). Literature review of research trends in the development of computer-based physics interactive learning media for High School Students in 2020-2025. *Indonesian Journal of Science and Education*, 9(2), 109–124. <https://doi.org/10.31002/ijose.v9i2.2918>
- Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 35 Tahun 2010 Tentang Petunjuk Teknis Pelaksanaan Jabatan Fungsional Guru Dan Angka Kreditnya, Pub. L. No. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 35 Tahun 2010 (2010).
- Pramudya, C. T., Islami, N., Azizahwati, & Rahmad, M. (2020). Development of static and kinetic friction coefficient experiment device based on Arduino Uno. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655(1), 012049. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1655/1/012049>
- Pramudya, C. T., Islami, N., & Rahmad, M. (2020). Development of static and kinetic friction coefficient experiment device based on Arduino Uno. *Journal of Physics: Conference Series*, 1655(1), 012049. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1655/1/012049/meta>
- Pramudya, L., Kumara, I. N. S., & Divayana, Y. (2024). Peranan kalibrasi pada alat ukur: Literature review. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 23(1), 37–48. <https://doi.org/10.24843/MITE.2024.v23i01.P05>
- Prastyo, A. U., Hermawan, P., & Salsabila, E. (2021). *Eksperimen gaya gesek pada bidang miring untuk menguji koefisien gesek statis dan kinetis*. 1(1).
- Pratidhina, E., Rosana, D., & Kuswanto, H. (2021). *Penggunaan Arduino Uno dan common-coding pada percobaan fisika materi kelistrikan*. Surabaya: Cipta Media Nusantara.
- Putra, M. E. (2021). Akurasi dan presisi alat ukur tinggi badan digital untuk penilaian status gizi. *Jurnal Endurance*, 6(3), 616–621. <https://doi.org/10.22216/jen.v6i3.580>
- Qusyairi, L. A. H. (2019). Pembuatan media pembelajaran fisika berbasis Macromedia Flash. *ISLAMIKA*, 1(1), 97–114. <https://doi.org/10.36088/islamika.v1i1.184>

- Rahmawati, S., Warliani, R., & Mulvia, R. (2025). Implementation of android-based interactive learning media on students' critical thinking skills in physics learning. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 13(1), 1–11. <https://doi.org/10.33394/j-lkf.v13i1.15040>
- Ramdani, S. D. (2019). Perancangan simulasi alat sensor parkir mobil area berbasis mikrokontroler AT328. *SinarFe7*, 2(1), 179–184.
- Razor, A. (2020). Kabel jumper Arduino: Pengertian, fungsi, jenis, dan harga. Retrieved January, 31, 2022.
- Rifal, R. R., Suhandi, A., Samsudin, A., & Aviyanti, L. (2025). Exploration of various visual media (real and virtual) in physics learning. *Momentum: Physics Education Journal*, 9(2), 228–236. <https://doi.org/10.21067/mpej.v9i2.11449>
- Rochim, W. J. K., Wulandari, R. D., Afida, N. A., Andini, A. D., & Alwiyah, A. U. (2023). Rancang bangun alat praktikum GLBB pada bidang miring dengan pengendali kemiringan berbasis Arduino. *JE-Unisla*, 8(2), 97–100.
- Rochim, W., Wulandari, R., Afida, N., & ... (2023). Rancang bangun alat praktikum GLBB pada bidang miring dengan pengendali kemiringan berbasis Arduino. *JE ...*, (Query date: 2024-10-10 06:34:25). <http://jurnalteknik.unisla.ac.id/index.php/elektronika/article/view/1100>
- Rudianto, E., Wulandari, P. C., & Yuliati, L. (2022). Pemberdayaan modul digital interaktif pembelajaran daring dan praktikum fisika berbasis Self-Directed Learning (SDL) di SMAN 1 Turen. *Jurnal MIPA Dan Pembelajarannya (JMIPAP)*, 2(7). <http://journal3.um.ac.id/index.php/mipa/article/download/3566/2321>
- Sari, I. N., & Saputri, D. F. (2016). Analisis kesalahan menggunakan alat ukur pada mahasiswa program studi pendidikan fisika IKIP PGRI Pontianak. *Edukasi: Jurnal Pendidikan*, 14(2), 237–248.
- Satria, H. (2023). Aplikasi Arduino dan sensor. *Insight Mediatama*. <https://repository.insightmediatama.co.id/books/article/view/41>
- Serway, R. A., & Jewett, J. W. (2018). *Physics for scientists and engineers* (Tenth edition, student edition). Cengage.
- Sugiyono, D. (2013). *Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sukindar, S., Kartika, I., & Untoro, N. (2017). The development of momen of inertia props based on Arduino Uno for second year of senior High School Student. *Proceeding International Conference on Science and Engineering*, 1, 229–233. <http://sunankalijaga.org/prosiding/index.php/icse/article/view/307>
- Trianto, T. (2010). *Model pembelajaran terpadu*. Jakarta: Bumi Aksara.

- Wicaksono, M. F. (2019). *Aplikasi Arduino dan sensor*. Bandung: Informatika.
- Widoyoko, E. P. (2012). *Teknik penyusunan instrumen penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar.
- Yuliani, B. N., Harijanto, A., & Nuraini, L. (2022). Design of practicum equipment for frictional force on inclined plane with Arduino-based Photogate Sensors. *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*, 10(1), Article 1. <https://doi.org/10.24252/jpf.v10i1.25626>

