



## Transformasi Digital Eksperimen Pesawat Atwood melalui Integrasi Sensor dan Otomatisasi Data Berbasis Python

Intan Ayu Pramesti<sup>✉</sup>, Nur Khoiri, Affandi Faisal Kurniawan

Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Matematika, Ilmu Pengetahuan Alam, dan Teknologi Informasi, Universitas PGRI Semarang, Jl. Lontar No. 1 Semarang, Semarang, Indonesia

### Info Artikel

*Sejarah Artikel:*

Diterima Maret 2025

Disetujui Juli 2025

Dipublikasikan Agustus 2025

*Keywords:*

Arduino Uno, Atwood Aircraft, IR-LED Sensor, Python

### Abstrak

Pesawat Atwood merupakan alat klasik yang digunakan untuk memverifikasi hukum gerak Newton. Fenomena gerak lurus beraturan (GLB) terjadi saat massa seimbang dan percepatan bernilai nol, sementara gerak lurus berubah beraturan (GLBB) muncul akibat perbedaan massa yang menghasilkan percepatan konstan. Penelitian ini mengimplementasikan transformasi digital melalui integrasi sensor inframerah (IR-LED), mikrokontroler Arduino Uno, dan otomatisasi pengolahan data berbasis Python. Sistem yang dikembangkan memiliki kemampuan untuk merekam interval waktu secara *real time* dengan kecepatan sampling 500 Hz, yang memungkinkan perhitungan percepatan dan kecepatan yang sangat akurat. Metode penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) dengan hasil pengukuran menunjukkan bahwa sistem digital memberikan nilai *error* relatif lebih rendah dibanding metode manual. Salah satu manfaat utama penelitian ini adalah meningkatkan akurasi verifikasi hukum gerak Newton dan mendukung pengembangan instrumen pengukuran berbasis digital dalam pendidikan sains. Selain itu, temuan penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar untuk penelitian tambahan tentang otomatisasi eksperimen fisika.

### Abstract

*Atwood's plane is a classic tool used to verify Newton's laws of motion. The phenomenon of regular straight motion (GLB) occurs when masses are balanced and acceleration is zero, while regular straight motion (GLBB) arises due to differences in mass that produce constant acceleration. This research implements digital transformation through the integration of infrared sensor (IR-LED), Arduino Uno microcontroller, and Python-based data processing automation. The developed system has the ability to record time intervals in real time with a sampling rate of 500 Hz, which allows for highly accurate acceleration and velocity calculations. This research method uses a Research and Development (R&D) approach with measurement results showing that the digital system provides a relatively lower error value than the manual method. One of the main benefits of this research is to improve the accuracy of verification of Newton's laws of motion and support the development of digital-based measurement instruments in science education. In addition, the findings of this study can be used as a basis for additional research on the automation of physics experiments.*

## PENDAHULUAN

Dalam mekanika klasik, pemahaman dinamika sistem fisika didasarkan pada hukum gerak Newton. Pesawat Atwood, yang menghubungkan dua massa melalui tali dan katrol, telah digunakan secara luas sebagai alat verifikasi untuk menguji bagaimana gaya, massa, dan percepatan berhubungan satu sama lain. Gerak benda pada Pesawat Atwood dapat diklasifikasikan sebagai GLB apabila kedua massa seimbang, sehingga tidak terjadi percepatan, atau GLBB apabila terdapat perbedaan massa yang menyebabkan percepatan konstan pada sistem (Halliday *et al.*, 2014).

Ketelitian pengukuran eksperimental sangat bergantung pada kemampuan instrumen untuk merekam data secara cepat dan akurat. Metode konvensional yang mengandalkan pencatatan manual menggunakan *stopwatch* memiliki keterbatasan intrinsik, di mana variasi waktu reaksi dan kesalahan pengamatan sering kali menghasilkan data yang tidak konsisten (Rohmah *et al.*, 2021).

Paradigma pengukuran dalam eksperimen fisika dapat diubah berkat kemajuan teknologi digital. Dengan menggunakan sensor digital, terutama inframerah (IR-LED), dapat dicatat interval waktu dengan resolusi yang sangat tinggi. Dengan kecepatan sampling hingga 500 Hz, mikrokontroler seperti Arduino Uno dapat merekam setiap perubahan waktu dalam skala mikrodetik. Integrasi komponen-komponen ini menghasilkan sistem pengukuran yang jauh lebih presisi dibandingkan metode manual (Astuti, 2019). Kajian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan teknologi otomatisasi dalam eksperimen fisika mampu meningkatkan ketepatan dan efisiensi dalam pengambilan data (Monteiro *et al.*, 2015; Ye *et al.*, 2019).

Analisis statistik dan visualisasi data secara *real-time* dapat dilakukan dengan menggunakan bahasa pemrograman Python untuk otomatisasi pengolahan data. Metode ini tidak hanya meningkatkan efisiensi pengolahan data tetapi juga memudahkan perbandingan antara hasil eksperimen dengan prediksi teoretis. Dengan demikian, verifikasi prinsip GLB dan GLBB dapat dilakukan secara objektif dan sistematis (Jefiza & Novianas, 2020). Studi lain juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi digital dalam eksperimen fisika memberikan dampak positif terhadap pembelajaran sains di tingkat pendidikan tinggi (Uzal, 2022).

Penerapan transformasi digital dalam eksperimen Pesawat Atwood memiliki dampak besar pada pengembangan instrumen pengukuran modern. Inovasi ini tidak hanya meningkatkan standar akurasi verifikasi eksperimental, tetapi juga memungkinkan penelitian lebih lanjut di bidang fisika murni, terutama tentang bagaimana sistem fisik berfungsi.

Dalam beberapa dekade terakhir, kemajuan teknologi digital telah berkembang pesat, memungkinkan integrasi alat pengukuran dengan sistem komputer yang mengotomatisasi seluruh proses akuisisi dan analisis data. Perkembangan ini telah membawa perubahan paradigma yang signifikan dalam cara eksperimen fisika dilakukan, di mana metode manual yang rawan kesalahan kini mulai digantikan oleh sistem digital yang canggih dan akurat (Rohmah *et al.*, 2021).

Secara teoritis, pendekatan digital dalam pengukuran eksperimental didasarkan pada prinsip-prinsip kalkulus diferensial yang mendasari pengukuran gerak. Sebagai contoh, dalam analisis gerak garis lurus, persamaan dasar  $s = vt + \frac{1}{2}at^2$  menunjukkan bahwa perubahan kecil pada variabel waktu  $t$  akan berpengaruh besar

pada perhitungan jarak tempuh  $s$ . Oleh karena itu, perekaman interval waktu dengan resolusi tinggi sangatlah penting. Penggunaan sensor digital memungkinkan peneliti untuk mendapatkan nilai  $t$  dengan tepat, sehingga perhitungan kecepatan  $v = \frac{ds}{dt}$  dan percepatan  $a = \frac{dv}{dt}$  dapat dilakukan dengan akurasi yang jauh lebih baik daripada yang dapat dicapai dengan perekaman manual (Astuti, 2019).

Penggunaan mikrokontroler seperti Arduino Uno telah merevolusi cara pengumpulan data dalam eksperimen. Arduino Uno memiliki kemampuan untuk mengambil sampel data dengan kecepatan hingga 500 Hz, yang berarti bahwa setiap interval waktu direkam dalam mikrodetik. Hal ini sangat mendukung pengukuran dinamis, di mana perubahan waktu yang sangat kecil harus direkam secara akurat untuk menghasilkan perhitungan yang valid. Dengan demikian, sistem yang memadukan sensor IR-LED dengan Arduino Uno memberikan keuntungan dari segi presisi dan konsistensi, karena kesalahan yang biasanya muncul akibat perekaman manual dapat diminimalkan secara signifikan (Tipler & Mosca, 2008).

Pemanfaatan bahasa pemrograman Python untuk otomatisasi pemrosesan data memberikan kontribusi yang besar untuk analisis eksperimental. Python, dengan pustaka seperti NumPy, Matplotlib, dan Pandas, memungkinkan pemrosesan data dalam jumlah besar dengan efisiensi tinggi. Proses otomatisasi ini tidak hanya mempercepat penghitungan statistik, tetapi juga memungkinkan visualisasi data yang interaktif dan *realtime*. Sebagai contoh, grafik pencar yang dihasilkan dari data digital dapat menggambarkan sebaran hasil pengukuran secara detail, sehingga memudahkan peneliti untuk mengidentifikasi *outlier* atau pola tertentu dalam data. Dengan demikian, penggunaan Python meningkatkan objektivitas dalam verifikasi eksperimen, karena perbandingan antara data yang diperoleh dengan model

teoritis dapat dilakukan dengan lebih tepat (Jefiza & Novianas, 2020).

Selain itu, integrasi sistem digital memungkinkan pemrosesan data secara otomatis yang mengurangi keterlibatan manusia dalam tahap pengambilan data. Hal ini sangat penting karena campur tangan manusia sering kali menjadi sumber utama kesalahan dalam pengukuran. Dengan sistem digital, data diperoleh secara terus menerus dan dapat langsung diproses menggunakan algoritma numerik, sehingga menghasilkan nilai kecepatan dan akselerasi yang lebih akurat. Pengurangan kesalahan ini sangat penting dalam verifikasi hukum gerak Newton, di mana ketepatan dalam pengukuran waktu memengaruhi keakuratan perhitungan parameter dinamis. Oleh karena itu, inovasi dalam pengukuran digital memberikan dasar empiris yang kuat untuk pengembangan model matematika dan simulasi numerik dalam mekanika klasik (Malik *et al.*, 2021).

Selain itu, penerapan sistem digital dalam pengukuran memungkinkan integrasi data yang lebih mudah dan lebih kolaboratif. Data yang dihasilkan dapat disimpan dalam format digital terstandarisasi, sehingga memudahkan pertukaran informasi antar laboratorium. Hal ini mendukung penelitian kolaboratif secara global, di mana hasil eksperimen dari berbagai institusi dapat dibandingkan untuk meningkatkan akurasi dan konsistensi model teoretis. Standardisasi ini meletakkan dasar bagi pengembangan instrumen penelitian modern yang dapat diadaptasi secara luas, sehingga mendukung kemajuan fisika murni (Margoum *et al.*, 2022).

Dalam hal pendidikan, transformasi digital dalam pengukuran eksperimental menyediakan platform pembelajaran yang interaktif dan modern. Di era digital, siswa tidak hanya dituntut untuk memahami teori secara mendalam, tetapi juga menguasai keterampilan praktis dalam pengolahan dan analisis data. Penggunaan sistem digital

memungkinkan penyajian data secara *realtime* melalui visualisasi interaktif, seperti grafik garis, diagram batang, dan grafik sebaran.

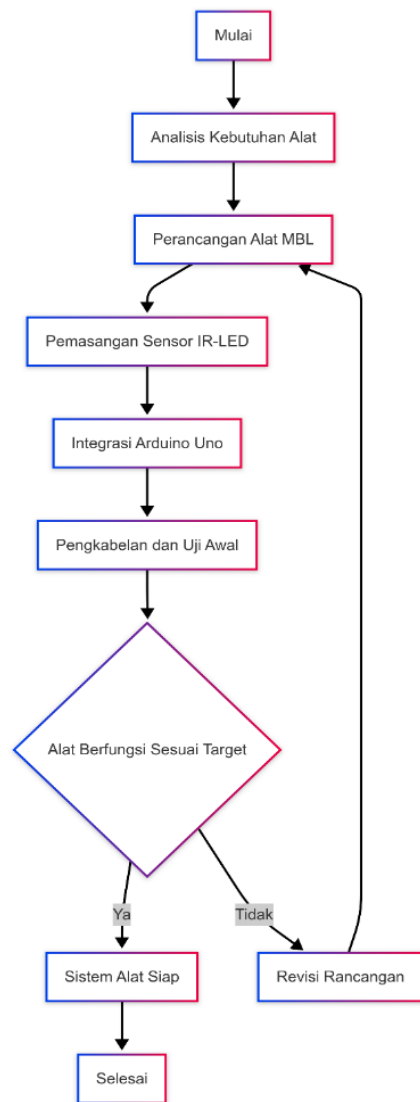
Transformasi digital dalam eksperimen seperti Pesawat Atwood merupakan langkah strategis yang tidak hanya meningkatkan akurasi dalam verifikasi hukum fisika, tetapi juga mendorong inovasi instrumen berbasis data *real-time* yang esensial bagi riset lanjutan dalam fisika eksperimental. Dengan mengintegrasikan teknologi digital ke dalam eksperimen klasik, penelitian ini menjadi sangat relevan dalam upaya memperkuat validitas ilmiah sekaligus meningkatkan kualitas pembelajaran fisika yang kontekstual dan modern.

## METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development-R&D*) yang bertujuan untuk mengembangkan Praktikum Pesawat Atwood menggunakan bahasa pemrograman Python. Diharapkan bahwa sistem ini dapat membantu meningkatkan akurasi dan efisiensi eksperimen fisika, terutama analisis gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB). Metode penelitian ini membahas langkah-langkah dalam proses pengembangan produk, termasuk proses desain, validasi oleh ahli, uji coba, revisi, dan evaluasi akhir sebelum implementasi produk. Diharapkan pengukuran dalam eksperimen Pesawat Atwood akan lebih akurat dan konsisten daripada metode manual yang selama ini digunakan karena kehadiran sistem berbasis Arduino dan sensor IR-LED.

### Perancangan Sistem

Perancangan sistem pada penelitian ini didasarkan pada *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 1. Menggunakan sensor IR-LED untuk mendeteksi pergerakan massa, Arduino Uno sebagai mikrokontroler, dan Python untuk pengolahan data otomatis.



**Gambar 1.** Flowchart Pembuatan Alat

Komponen utama berikut ini dimasukkan ke dalam desain sistem pengukuran digital:

1. Sensor: Untuk mendeteksi waktu lewatnya objek dengan sangat akurat, sensor inframerah (IR-LED) dipasang pada tiga titik utama di sepanjang lintasan Pesawat Atwood.
2. Mikrokontroler: Arduino Uno berfungsi sebagai perangkat perekam data; sistem perekam datanya dapat merekam interval waktu dalam skala mikrodetik dengan laju sampling 500 Hz.
3. Pengkabelan dan Breadboard: Rangkaian sensor dirakit secara hati-hati untuk memastikan sinyal yang stabil dan konsisten.

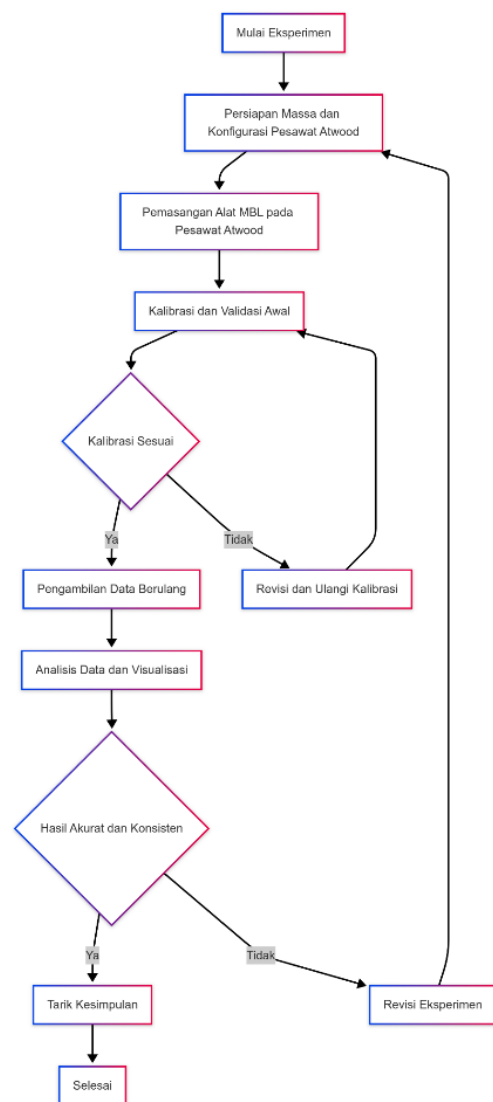
4. Pesawat Atwood: Eksperimen dilakukan dengan dua konfigurasi massa: kondisi di mana kedua massa seimbang (GLB) dan kondisi di mana massa tidak seimbang (GLBB).

### Validasi Sistem

Untuk validasi sistem, hasil pengukuran digital yang diperoleh dibandingkan dengan data yang dikumpulkan secara manual menggunakan stopwatch.

### Pelaksanaan Eksperimen

Pelaksanaan eksperimen pada penelitian ini didasarkan pada *flowchart* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 2.** *Flowchart* Pelaksanaan Eksperimen

Proses eksperimen dilaksanakan dengan metode sebagai berikut: Tetapkan konfigurasi massa dan jarak pengukuran antara titik X1 dan X2. Lakukan pengukuran berulang sebanyak lima kali dalam setiap kondisi untuk memastikan konsistensi data. Secara otomatis menghitung kecepatan dan akselerasi berdasarkan rekaman waktu tempuh digital. Kumpulkan data pengukuran secara manual untuk tujuan perbandingan.

### Analisis Data

Untuk menilai keakuratan dan konsistensi pengukuran, data yang diperoleh dianalisis secara statistik. Proses analisis meliputi perhitungan deviasi standar dan error relatif untuk mengevaluasi sebaran data serta tingkat kestabilan hasil pengukuran dari masing-masing metode. Selain itu, dilakukan perbandingan kesalahan antara metode manual dan digital guna mengidentifikasi perbedaan tingkat presisi. Untuk memberikan gambaran yang komprehensif mengenai hasil perbandingan, visualisasi data disajikan dalam bentuk grafik garis, grafik batang, dan grafik sebaran, sehingga pola dan tren pengukuran dapat diamati secara lebih jelas dan sistematis.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

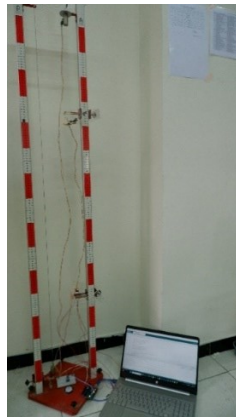
### Visualisasi Alat

Alat yang dikembangkan dalam penelitian ini memainkan peran penting dalam meningkatkan akurasi dan efisiensi pengukuran gerak pada sistem Pesawat Atwood. Integrasi sensor cahaya yang dipasang secara vertikal pada rangka bertingkat memungkinkan deteksi waktu secara otomatis dengan resolusi tinggi, sehingga mengurangi potensi kesalahan manusiawi yang biasa terjadi pada metode manual.

Dari segi fungsionalitas, sistem ini menunjukkan kinerja yang andal dalam mencatat waktu lintasan massa dengan konsisten. Data yang diperoleh ditampilkan secara *real-time* melalui antarmuka digital,

memberikan kemudahan dalam proses akuisisi dan analisis data. Desain modular pada sensor juga memungkinkan penyesuaian konfigurasi sesuai skenario eksperimen yang diinginkan, menjadikan alat ini fleksibel untuk berbagai jenis pengujian kinematika.

Implementasi alat ini tidak hanya memperkuat validitas hasil eksperimen, tetapi juga mendemonstrasikan potensi integrasi teknologi digital dalam eksperimen fisika klasik. Hasil perbandingan antara metode otomatis dan manual yang diperoleh dalam penelitian ini menunjukkan adanya peningkatan presisi yang signifikan, sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 3.



**Gambar 3.** Alat Eksperimen Pesawat Atwood

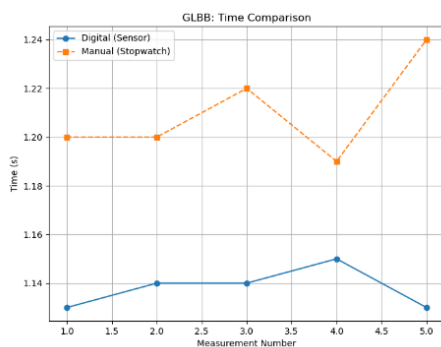
Alat ini terdiri dari rangka vertikal berskala, sistem katrol dan beban, sensor cahaya pada beberapa titik, mikrokontroler sebagai pemroses data, serta koneksi langsung ke laptop untuk visualisasi dan pencatatan data secara otomatis. Struktur ini secara keseluruhan mendukung peningkatan kualitas data eksperimen dan menjadi bukti nyata keberhasilan integrasi teknologi dalam pengukuran fisika eksperimental.

### Pengukuran dan Visualisasi Data

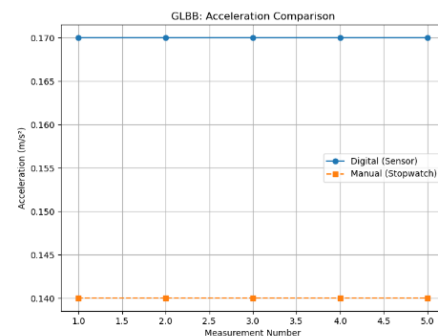
Untuk memahami perbedaan antara metode digital dan manual dalam eksperimen Pesawat Atwood, beberapa data pengukuran dikumpulkan dan divisualisasikan dalam baik tabel maupun grafik. Tujuan penyajian data ini adalah untuk menunjukkan bahwa metode digital mengukur waktu tempuh, kecepatan, dan percepatan dengan lebih akurat daripada metode manual. Grafik yang disajikan juga menunjukkan *tren* data serta perbedaan signifikan antara kedua metode. Tabel 1 menunjukkan perbandingan data, Gambar 4 menunjukkan perbandingan waktu GLBB, Gambar 5 menunjukkan perbandingan percepatan GLBB, Gambar 6 menunjukkan perbandingan kecepatan GLBB, dan Gambar 7 menunjukkan perbandingan *error*.

**Tabel 1.** Perbandingan Data Sensor dan Manual

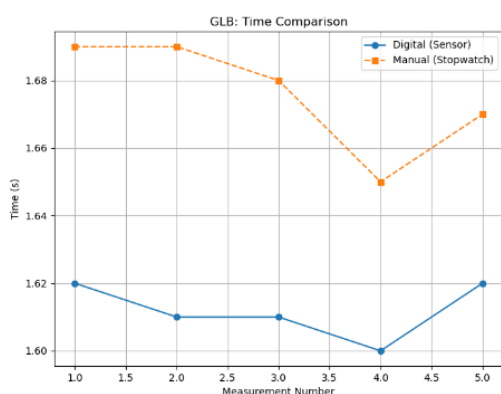
Kondisi	Metode	$T_1$ (s)	$v$ (m/s)	$a$ (m/s) <sup>2</sup>	$(\delta x_i)^2$	Error
GLBB	Sensor	1,138	0,18	0,16	0,00028	0,74%
GLBB	Manual	1,21	0,17	0,14	0,00016	1,66%
GLB	Sensor	1,612	0,22	0	0,00028	0,74%
GLB	Manual	1,676	0,21	0	0,00112	1,00%



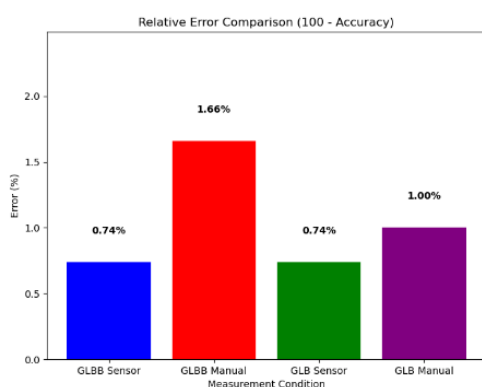
**Gambar 4.** Grafik Perbandingan Waktu GLBB



**Gambar 5.** Grafik Perbandingan Percepatan GLBB



**Gambar 6.** Grafik Perbandingan Kecepatan GLBB



**Gambar 7.** Grafik Perbandingan Error GLB dan GLBB

### Pembahasan Eksperimental

Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode digital memiliki kesalahan relatif lebih rendah dibandingkan metode manual. Pada kondisi GLBB, waktu tempuh rata-rata dengan sensor tercatat 1,138 s dibandingkan dengan 1,210 s pada metode manual. Selain itu, perhitungan percepatan digital ( $0,16 \text{ m/s}^2$ ) lebih mendekati nilai teoretis ( $0,196 \text{ m/s}^2$ ) dibandingkan dengan percepatan manual ( $0,14 \text{ m/s}^2$ ). Temuan ini mendukung studi sebelumnya yang menunjukkan bahwa penggunaan sensor digital meningkatkan akurasi eksperimen fisika dibandingkan metode manual (Jefiza & Novianas, 2020; Zaroni *et al.*, 2022).

Dalam kondisi GLB, sistem digital menunjukkan hasil yang tidak hanya lebih mendekati nilai waktu ideal, tetapi juga lebih konsisten. Konsistensi ini terlihat dari

penyebaran data yang lebih kecil dibandingkan metode manual, yang ditunjukkan melalui nilai simpangan baku dan koefisien variasi yang lebih rendah. Artinya, sistem digital mampu memberikan hasil yang lebih stabil dan mengurangi fluktuasi akibat kesalahan manusia.

Analisis Kesalahan Kesalahan relatif dalam eksperimen ini dihitung berdasarkan perbedaan antara hasil pengukuran digital dan manual. Pada kondisi GLBB, metode sensor memiliki kesalahan sebesar 0,74%, sedangkan metode manual mencapai 1,66%. Sementara itu, pada kondisi GLB, kesalahan sensor adalah 0,74%, lebih rendah dibandingkan metode manual yang mencapai 1,00%. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan teknologi digital mampu meningkatkan akurasi eksperimen dan mengurangi ketidakpastian dalam pencatatan waktu.

### Implikasi terhadap Verifikasi Fisika Murni

Dari perspektif verifikasi fisika murni, penggunaan sistem digital yang lebih akurat memungkinkan pengujian model teoretis hukum gerak Newton dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi. Rekaman data dengan resolusi mikrodetik membantu perhitungan kecepatan dan percepatan yang akurat, yang sangat penting untuk verifikasi empiris fenomena GLB dan GLBB. Standardisasi metode digital ini dapat dijadikan acuan untuk pengembangan instrumen pengukuran modern, yang dapat meningkatkan kualitas penelitian eksperimental dalam mekanika klasik (Astuti, 2019).

### Implikasi terhadap Verifikasi Fisika Pendidikan

Dalam konteks pendidikan, transformasi digital memberikan manfaat signifikan melalui penyediaan platform pembelajaran yang interaktif dan *real-time*. Visualisasi data yang dihasilkan memungkinkan mahasiswa untuk langsung mengamati dan menganalisis fenomena dinamika, sehingga meningkatkan

pemahaman terhadap konsep dasar fisika. Selain itu, pengurangan *error* relatif melalui metode digital memberikan kepercayaan bahwa data yang diperoleh dapat digunakan sebagai referensi standar dalam eksperimen praktikum, yang pada akhirnya meningkatkan mutu pembelajaran di bidang pendidikan fisika (Jefiza & Novianas, 2020).

## SIMPULAN

Studi ini telah menghasilkan sistem pengukuran digital berbasis Python yang dapat digunakan untuk memverifikasi prinsip gerak lurus beraturan (GLB) dan gerak lurus berubah beraturan (GLBB) pada Pesawat Atwood. Sistem ini mengintegrasikan IR-LED dan mikrokontroler Arduino Uno. Dengan *error* relatif sebesar 0,74% untuk pengukuran sensor, sistem digital yang dihasilkan menunjukkan ketelitian yang tinggi. Ini berbeda dengan 1,66% untuk pengukuran manual pada kondisi GLBB, dan 1,00% untuk pengukuran manual pada kondisi GLB. Hasilnya mendukung verifikasi empiris hukum gerak Newton karena transformasi digital mendukung konsistensi dan akurasi data. Penelitian ini memberikan alat pengukuran yang dapat digunakan secara konsisten dan memberikan manfaat bagi pendidikan fisika dengan menyediakan platform interaktif yang membantu siswa memahami konsep dasar dinamika. Akibatnya, penelitian ini sangat penting bagi disiplin fisika murni.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, I. A. D. (2019). Pengembangan alat eksperimen penentuan percepatan gravitasi bumi berdasarkan teori bidang miring berbasis *microcomputer based laboratoy* (MBL). *Faktor Exacta*, 9(2), 114–118. [https://journal.lppm.unindra.ac.id/index.php/Faktor\\_Exacta/article/view/788](https://journal.lppm.unindra.ac.id/index.php/Faktor_Exacta/article/view/788)
- Halliday, D., Resnick, R., & Walker, J. (2014). *Fundamentals of Physics* (10<sup>th</sup> ed.) Wiley.
- Jefiza, A., & Novianas, H. (2020). Optimasi pesawat atwood menggunakan sensor LDR (Light Dependent Resistor). *Journal of Applied Sciences, Electrical Engineering and Computer Technology*, 1(2), 19–25. <https://doi.org/10.30871/aseect.v1i2.2361>
- Malik, A., Utami, N. F., Rizaldi, M. F., Sarah, S., Nursetia, S., Mauli, T., Rochman, C., & Mulhayatiah, D. (2021). Development of an Atwood aircraft practicum tool based on automatic timers to explain Newton's second law. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012172>
- Margoum, S., Berrada, K., Burgos, D., & El Hasri, S. (2022). Microcomputer-based laboratory role in developing students' conceptual understanding in chemistry: Case of acid–base titration. *Journal of Chemical Education*, 99(7), 2548–2555. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01254>
- Monteiro, M., Stari, C., Cabeza, C., & Marti, A. C. (2015). The Atwood machine revisited using smartphones. *The Physics Teacher*, 53(6), 373–374. <https://doi.org/10.1119/1.4928357>
- Rohmah, K., Partono, P., & Salim, M. B. (2021). Pengembangan alat praktikum mesin Atwood. *Jurnal Firnas*, 2(1), 34–40. <https://doi.org/10.24127/firnas.v2i1.3402>
- Tipler, P. A., & Mosca, G. (2008). *Physics for scientists and engineers* (6th ed.). W. H. Freeman and Company.
- Uzal, G. (2022). The use of Arduino in physics laboratories. *TOJET: The Turkish Online Journal of Educational Technology*, 21(3), 88–100.
- Ye, J., Lu, S., & Bi, H. (2019). The effects of microcomputer-based laboratories on students macro, micro, and symbolic representations when learning about net ionic reactions. *Chem. Educ. Res. Pract.*, 20(1), 288–301. <https://doi.org/10.1039/C8RP00165K>



Zaroni, A., Ristanto, S., & Nuroso, H. Analisis gerak pesawat Atwood menggunakan sensor IR-LED dan pengolahan citra.

*Journal Lontar Physics Today*, 3(1), 9-18. <https://doi.org/10.26877/lpt.v3i1.19212>

