



Gravitational Acceleration Measurement at Three Locations in Muaro Jambi through Free Fall Experiments: Quantitative Analysis and Uncertainty

Faisal Ijlal Saputra¹, Marcel Khusnul Khotimah², Jeliana Veronika Sirait^{3*}

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan

Universitas Jambi, Indonesia

Jalan Raya Jambi-Ma.Bulian KM.15 Mendalo Darat Jambi

*e-mail: jelianasirait@unja.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.52434/jpif.v6i1.43232>

Accepted: December 8, 2025 Approved: February 20, 2026 Published: Juni 23, 2026

ABSTRACT

This study examines the relationship between fall height (h) and the square of the fall time (t^2) and estimates the local gravitational acceleration (g) at three locations in Muaro Jambi (Mendalo, Sungai Duren, Muaro Pijoan). The experiment was conducted by dropping a spherical ball from three heights (0.80 m; 1.00 m; 1.50 m) and recording the fall time repeatedly using a digital stopwatch. A graphical analysis of h versus t^2 was applied using linear regression without an intercept (regression through the origin) so that $g = 2 \cdot \text{slope}$. The results show a consistent quadratic pattern ($h \propto t^2$), but the numerical estimate of g deviates from the theoretical value ($\approx 9.81 \text{ m/s}^2$). The causes of the deviation are analyzed and are dominated by uncertainty in the time measurement (human response to the stopwatch) as well as contributions from air resistance and height measurement errors. Due to the limited number of height points ($n = 3$) and the use of manual time measurement, these results are insufficient to assess small geographic variations in g . This study recommends the use of automatic timing sensors (e.g. Phyphox, mechanical switch), variations in object diameter, and increasing the number of height points for further studies.

Keywords: *free fall motion, gravitational acceleration, time, height*

Pengukuran Percepatan Gravitasi di Tiga Lokasi Muaro Jambi melalui Percobaan Jatuh Bebas: Analisis Kuantitatif dan Ketidakpastian

ABSTRAK

Penelitian ini mengamati hubungan antara ketinggian jatuh (h) dan kuadrat waktu jatuh (t^2) serta mengestimasi nilai percepatan gravitasi lokal (g) pada tiga lokasi di Muaro Jambi (Mendalo, Sungai Duren, Muaro Pijoan). Percobaan dilakukan dengan menjatuhkan sebuah bola sferis dari tiga ketinggian (0,80 m; 1,00 m; 1,50 m) dan merekam waktu jatuh menggunakan *stopwatch* digital secara berulang. Analisis grafik h terhadap t^2 diterapkan dengan regresi linear tanpa

intercept (regresi melalui titik asal) sehingga $g = 2 \cdot \text{slope}$. Hasil menunjukkan konsistensi pola kuadratik ($h \propto t^2$), namun estimasi numerik g menyimpang dari nilai teoritis ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$). Penyebab deviasi dianalisis dan didominasi oleh ketidakpastian pengukuran waktu (respon manusia terhadap *stopwatch*) serta kontribusi hambatan udara dan kesalahan pengukuran ketinggian. Karena keterbatasan jumlah titik ketinggian ($n = 3$) dan penggunaan pengukur waktu manual, hasil ini tidak cukup untuk menilai variasi geografis kecil pada g . Penelitian ini merekomendasikan penggunaan sensor waktu otomatis (mis. Phyphox, mechanical switch), variasi diameter objek, dan peningkatan jumlah titik ketinggian untuk studi lanjutan.

Kata kunci: gerak jatuh bebas, percepatan gravitasi, waktu, ketinggian

PENDAHULUAN

Gerak jatuh bebas adalah salah satu fenomena paling fundamental dalam fisika, di mana suatu benda bergerak hanya karena pengaruh gaya gravitasi tanpa gaya lain yang bekerja (Halliday, 2014). Fenomena ini menggambarkan bagaimana suatu benda bergerak ketika dilepaskan dari ketinggian tertentu dan hanya dipengaruhi oleh satu gaya dominan, yaitu gaya gravitasi yang merupakan konstanta penting dalam berbagai bidang ilmu pengetahuan dan teknologi (Fitriwati, D., Sepudin, R. H., Hindasah, D. M., & Malik, 2025). Winingsih dkk. (2023), menyatakan bahwa dalam mekanika klasik, pemahaman mendalam tentang gerak jatuh bebas menjadi landasan esensial untuk menganalisis berbagai sistem dinamis yang lebih kompleks. Konsep ini tidak hanya terbatas pada buku teks, tetapi juga dapat diamati secara langsung dalam kehidupan sehari-hari, mulai dari jatuhnya buah dari pohon hingga gerakan benda-benda di sekitar kita (Miyagi & Barokah, 2023).

Pentingnya mempelajari gerak jatuh bebas terletak pada perannya sebagai aplikasi langsung dari Hukum II Newton (Horstman dkk., 2019). Ketika hambatan udara diabaikan, satu-satunya gaya yang bekerja pada benda adalah gaya gravitasi, yang menghasilkan percepatan konstan yang dikenal sebagai percepatan gravitasi (g) (Muliawan dkk., 2021). Studi mengenai gerak ini memungkinkan kita untuk memvalidasi prinsip-prinsip dasar kinematika dan dinamika, serta memahami bagaimana gravitasi berinteraksi dengan massa. Selain itu, pemahaman tentang gerak jatuh bebas juga menjadi dasar bagi analisis fenomena yang lebih kompleks, seperti gerak parabola dan osilasi, sehingga konsep ini sangat penting untuk membangun fondasi kuat dalam studi fisika (Langendorf dkk., 2022) (Akhli & Nisa, 2024).

Gerak jatuh bebas merupakan bentuk khusus dari gerak lurus berubah beraturan (GLBB) dengan percepatan konstan yang dikenal sebagai percepatan gravitasi (g) (Giancoli, 2016). Secara teoritis, jarak yang ditempuh oleh sebuah benda yang dijatuhkan berbanding lurus dengan kuadrat waktu jatuhnya (Boimau dkk., 2021). Namun dalam praktiknya, hasil pengukuran dapat dipengaruhi oleh hambatan udara, reaksi alat ukur, kondisi lingkungan, dan keterbatasan ketelitian instrumen sehingga nilai g tidak selalu sama dengan nilai teoritis $9,8 \text{ m/s}^2$. Penelitian ini menekankan bahwa ketelitian alat ukur (waktu, sensor) dan prosedur eksperimental penting dalam memperoleh hasil yang valid (Harnsoongnoen dkk., 2024).

Percepatan gravitasi bervariasi di berbagai lokasi di permukaan bumi (Medellu dkk., 2023). Faktor-faktor seperti ketinggian suatu tempat di atas permukaan laut (MDPL) dan jaraknya dari ekuator dapat menyebabkan nilai ' g ' sedikit berbeda (Subhan dkk., 2022). Analisis penyimpangan

tidak hanya akan mengukur ketelitian alat, tetapi juga mengkaji seberapa besar faktor-faktor lingkungan dan lokasi ini berkontribusi pada hasil akhir yang diperoleh.

Sejumlah penelitian sebelumnya telah meninjau pengukuran percepatan gravitasi menggunakan metode jatuh bebas di berbagai lokasi. Menurut Pratiwi dkk. (2024), adanya variasi nilai g antara wilayah akibat perbedaan ketinggian, karakteristik geografis, dan ketelitian alat ukur yang digunakan. Penelitian lain oleh Toda dkk. (2020), mengonfirmasi bahwa ketelitian pengukuran dalam eksperimen dipengaruhi oleh instrumental. Namun berbeda dengan tren penelitian saat ini yang dilakukan oleh Bara (2021) yang beralih pada penggunaan sensor digital (seperti Phyphox atau Tracker) untuk meminimalisir kesalahan. Penelitian ini menawarkan kebaruan dengan menguji batas validitas instrument manual (*stopwatch*) di lingkungan terbuka Muaro Jambi. Pendekatan ini menyoroti dampak *human respon time* dan kondisi atmosfer alami terhadap akurasi data. Memberikan wawasan empiris mengenai tantangan pengukuran dalam kondisi non-ideal.

Konsep gerak jatuh bebas terlihat sederhana, namun pelaksanaannya dalam eksperimen memunculkan beberapa pertanyaan fundamental yang perlu dijawab. Pengukuran yang presisi dan analisis data yang akurat menjadi tantangan tersendiri. Penelitian ini dirancang untuk menjawab serangkaian permasalahan spesifik yang didasarkan pada kerangka teoritis dan tujuan eksperimen yang telah ditetapkan (Muslim, 2021). Eksperimen gerak jatuh bebas dalam konteks pendidikan terbukti meningkatkan keterampilan proses sains, seperti pengukuran langsung, analisis grafik, dan evaluasi ketidakpastian. Melalui kegiatan ini, peserta didik tidak hanya memahami konsep GLBB, tetapi juga mampu menghubungkan teori dengan data empiris. Pembelajaran berbasis eksperimen berperan penting dalam memperkuat literasi ilmiah serta kemampuan berpikir kritis (Kauwo dkk., 2022; Poernomo dkk., 2022; Setiawan dkk., 2022).

Tujuan utama penelitian ini adalah (1) mengukur nilai percepatan gravitasi (g) secara empiris di tiga lokasi berbeda di Muaro Jambi menggunakan eksperimen jatuh bebas, (2) menganalisis hubungan matematika antara ketinggian (h) dan kuadrat waktu jatuh (t^2) dengan pendekatan regresi linear melalui titik asal untuk mengekstrak nilai g , dan (3) mengevaluasi sumber-sumber ketidakpastian yang mempengaruhi deviasi hasil eksperimen terhadap nilai teoritis $g \approx 9,81 \text{ m/s}^2$. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengujian batas validitas pengukuran dengan stopwatch manual pada kondisi lapangan terbuka dan perbandingan kualitas (R^2) antar lokasi untuk menilai pengaruh kondisi lokal dan faktor eksperimental terhadap akurasi.

Secara teori, benda yang jatuh hanya dipengaruhi gravitasi dan mengikuti hubungan kuadratik antara jarak dan waktu. Namun, hasil eksperimen sering menunjukkan variasi nilai percepatan gravitasi akibat faktor alat ukur, hambatan udara, kondisi lingkungan, serta perbedaan lokasi geografis (Yuningsih & Dewi, 2022). Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengukur nilai percepatan gravitasi di tiga lokasi berbeda di Muaro Jambi, serta menganalisis pengaruh ketidakpastian pengukuran terhadap linearitas data percobaan.

METODE PENELITIAN

Penelitian menggunakan metode eksperimen, karena bertujuan untuk mengamati dan mengukur besaran fisis berupa percepatan gravitasi secara empiris. Eksperimen fisika didefinisikan sebagai

kegiatan sistematis dan terencana untuk menguji hipotesis atau teori melalui pengamatan empiris terhadap fenomena alam, dengan melibatkan peserta secara langsung dalam pengambilan data, analisis, dan penarikan Kesimpulan (Imam Sutaji dkk., 2025).

Eksperimen dalam pembelajaran berperan sebagai sarana aktualisasi pengetahuan teoretis menjadi pengalaman nyata, yang terbukti efektif meningkatkan keterampilan observasi, kemampuan berpikir kreatif, dan penguasaan keterampilan laboratorium yang komprehensif (Imam Sutaji dkk., 2025)(Desilia Yuniati, Sriyono, 2020)Gkioka, 2020). Eksperimen tidak hanya berfungsi sebagai alat verifikasi teori, tetapi juga sebagai pendorong pengembangan kompetensi ilmiah dan literasi sains peserta didik

Eksperimen dilakukan di tiga lokasi berbeda di daerah muaro jambi, yaitu Mendalo, Sungai Duren, dan Pijoan, dimana percobaan dilakukan pada ruang terbuka di daerah yang memiliki ketinggian berbeda. Ketiga Lokasi percobaan memiliki ketinggian berkisar 15 – 25 MDPL. Alat dan bahan yang digunakan untuk percobaan ini meliputi: bola kasti baru/bola logam (benda jatuh), *stopwatch digital*, meteran atau penggaris tinggi, alat penahan bola (sederhana), alat tulis untuk mencatat, kamera (dokumentasi). Pemilihan bola logam/bola kasti yang baru dan berbentuk sferis bertujuan untuk meminimalkan hambatan udara yang tidak teratur. Bola logam khususnya digunakan karena memiliki densitas yang lebih besar. Pemilihan benda sferis dan material berdensitas tinggi dimaksudkan untuk menekan rasio gaya hambat terhadap berat sehingga kondisi lebih mendekati asumsi tanpa hambatan udara, mendekati kondisi ideal gerak jatuh bebas, sesuai prinsip dasar kinematika (Giancoli, 2016).

Semua alat diuji terlebih dahulu untuk memastikan ketepatan pengukuran. Proses pelepasan benda dilakukan tanpa kecepatan awal ($v_0 = 0$), dan stopwatch diaktifkan bersamaan dengan pelepasan benda. Menurut Serway dan Jewett (2018), penelitian eksperimen memerlukan kontrol terhadap variabel bebas agar hasilnya valid. Variabel bebas penelitian ini adalah tinggi jatuh benda, sedangkan variabel terikat adalah waktu jatuhnya. Variabel kontrol meliputi massa benda dan kondisi udara. Setiap pengukuran diulang tiga kali dan dirata-ratakan untuk mengurangi kesalahan sistematis. Data yang diperoleh kemudian dianalisis menggunakan persamaan gerak lurus berubah beraturan (GLBB).

Adapun prosedur yang dilakukan saat melakukan percoaan gerak jatuh bebas, yaitu memilih tiga lokasi berbeda yang memiliki permukaan datar/rata. Setelah itu mengukur ketinggian benda jatuh bebas yaitu 0,8m; 1,0m; 1,5m. Bola dilepaskan tanpa kecepatan awal dari ketinggian dan mengukur waktu yang dibutuhkan bola menyentuh tanah. Setiap pengukuran dilakukan pengulangan minimal sebanyak 3 kali pada setiap variasi ketinggian dan lokasi untuk memastikan keakuratan data dan meminimalisir kesalahan acak. Pengulangan ini dilakukan untuk memfasilitasi perhitungan nilai rata-rata waktu yang lebih akurat, sekaligus memungkinkan estimasi ketidakpastian (*uncertainty*) yang disebabkan oleh *human error* (waktu reaksi) dan variasi lingkungan. Pengulangan ini sangat penting untuk menentukan simpangan baku (*standard deviation*) data waktu.

Tahapan analisis data dimulai dengan mengolah data ketinggian (h) dan kuadrat waktu (t) yang diperoleh dari seluruh titik pengukuran yang terkumpul di setiap lokasi. Untuk memperoleh nilai percepatan gravitasi (g) secara empiris dengan validitas yang tinggi. Penelitian ini memanfaatkan metode analisis grafik regresi linear. Berdasarkan persamaan gerak jatuh bebas:

$$h = \frac{1}{2}gt^2 \dots\dots\dots(1),$$

terdapat hubungan linear antara jarak jatuh (h) dan kuadrat waktu (t^2). Oleh karena itu, akan dibuat grafik hubungan antara h (sebagai sumbu-y) terhadap t^2 (sebagai sumbu-x). Analisis regresi linear pada grafik ini akan menghasilkan suatu garis lurus yang kemiringannya (m) setara dengan $h = \frac{1}{2}g$ nilai g untuk setiap lokasi ditentukan langsung dari kemiringan regresi linear tersebut menggunakan rumus:

$$g = 2 \times \text{Kemiringan } (m) \dots\dots\dots(2),$$

Nilai g yang diperoleh melalui analisis kemiringan ini akan dijadikan hasil utama penelitian karena secara statistik merepresentasikan nilai percepatan gravitasi rata-rata dari keseluruhan set data, yang lebih representatif dan akurat dibandingkan penghitungan per titik, dan selanjutnya akan dibandingkan dengan nilai teoritis $g = 9,8 \text{ m/s}^2$ untuk menghitung persentase deviasi. Menurut Young & Freedman (2019), selisih nilai hasil eksperimen dan teoritis dapat disebabkan oleh kesalahan pengukuran manual, reaksi manusia, serta pengaruh hambatan udara. Hasil eksperimen akan disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar hubungan antara tinggi dan waktu dapat dianalisis secara visual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Ekperimen

Adapun tabel hasil pengukuran waktu jatuh benda pada berbagai ketinggian di tiga lokasi percobaan dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 1. Hasil Pengukuran Gerak Jatuh Bebas Untuk Mengukur Percepatan Gravitasi Ditiga Lokasi Muaro Jambi

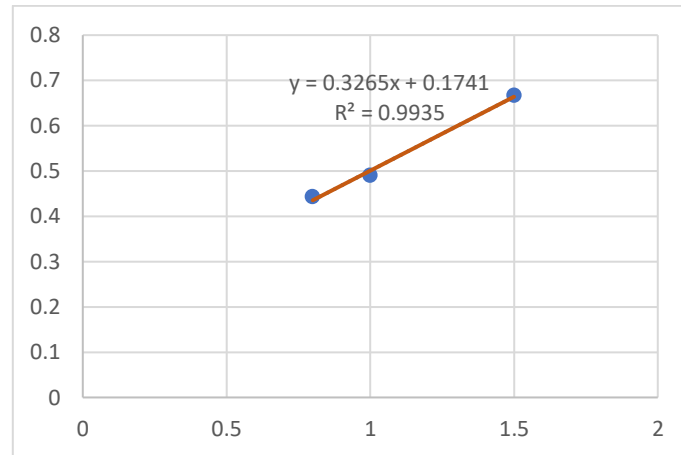
<i>Lokasi</i>	<i>Tinggi (m)</i>	<i>t₁ (s)</i>	<i>t₂ (s)</i>	<i>t₃ (s)</i>	<i>t_{mean} (s)</i>	<i>t std (s)</i>	<i>t² (s²)</i>	<i>g_{point} (m/s²)</i>
Mendalo	0.8	0.470	0.440	0.420	0.443	0.025	0.196	8.152
	1.0	0.500	0.470	0.500	0.490	0.017	0.240	8.329
	1.5	0.650	0.590	0.760	0.667	0.086	0.444	6.743
Sungai Duren	0.8	0.480	0.430	0.440	0.450	0.026	0.202	7.901
	1.0	0.490	0.540	0.490	0.507	0.029	0.257	7.780
	1.5	0.610	0.610	0.670	0.630	0.035	0.396	7.558
Muaro Pijoan	0.8	0.410	0.400	0.420	0.410	0.010	0.168	9.518
	1.0	0.530	0.410	0.540	0.493	0.072	0.243	8.228
	1.5	0.670	0.670	0.690	0.677	0.012	0.458	6.545

Berikut dapat dilihat dokumentasi eksperimen gerak jatuh bebas untuk mengukur percepatan gravitasi ditiga lokasi muaro jambi, disajikan pada Tabel 2 berikut.

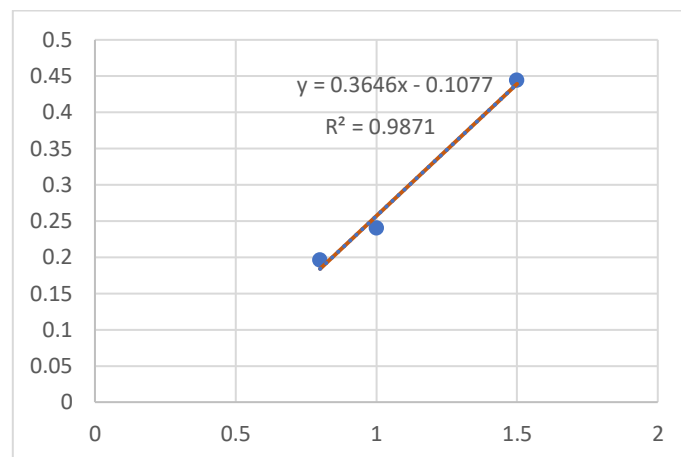
Tabel 2. Dokumentasi Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Untuk Mengukur Percepatan Gravitasi
Di tiga Lokasi Muaro Jambi

No.	Lokasi	Tinggi 80cm	Tinggi 100cm	Tinggi 150cm
1.	Mendalo			
2.	Sungai Duren			
3.	Muaro Pijoan			

Berikut dapat dilihat grafik yang menunjukkan perbandingan hasil percobaan gerak jatuh bebas di Mendalo.

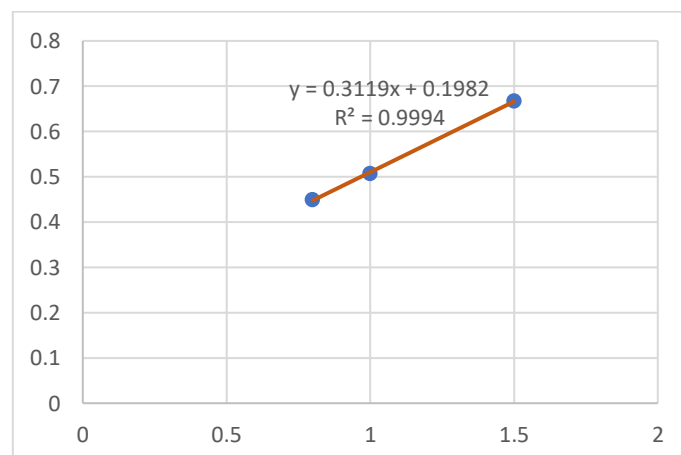


Gambar 1. Grafik perbandingan h terhadap t di Mendalo

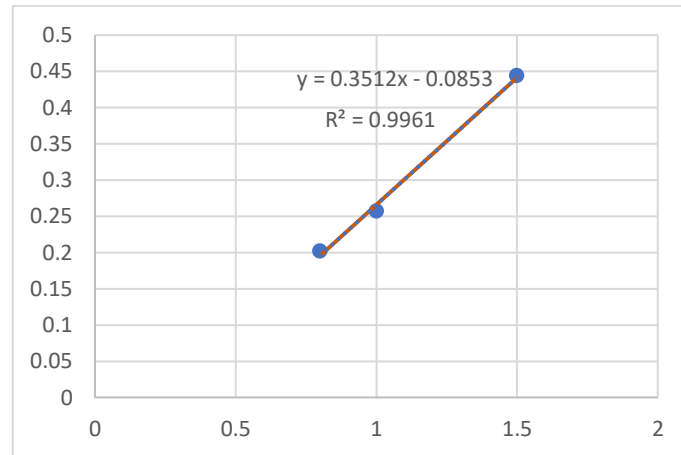


Gambar 2. Grafik perbandingan h terhadap t^2 di Mendalo

Berikut dapat dilihat grafik yang menampilkan perbandingan data gerak jatuh bebas yang diperoleh di Sungai Duren:

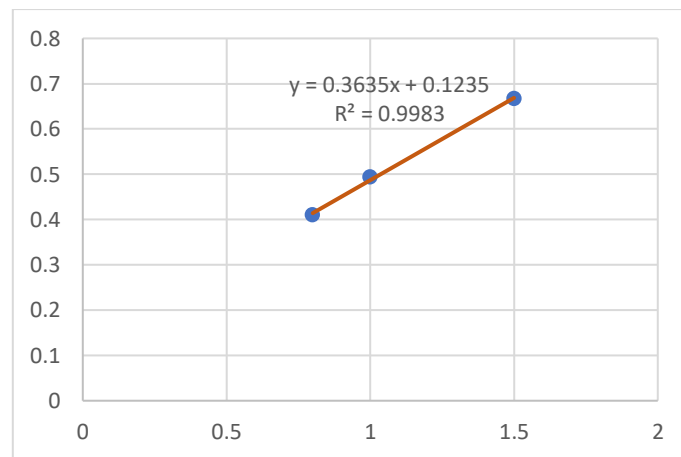


Gambar 3. Grafik perbandingan h terhadap t di Sungai Duren

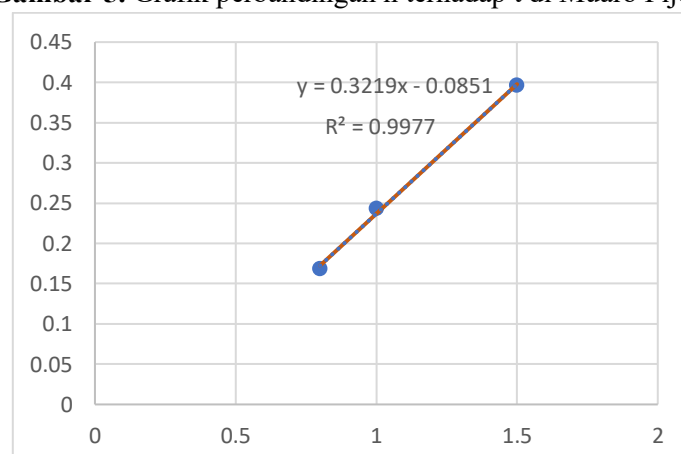


Gambar 4. Grafik perbandingan h terhadap t^2 di Sungai Duren

Berikut dapat dilihat grafik memperlihatkan perbandingan hasil eksperimen gerak jatuh bebas di Muaro Pijoan:



Gambar 5. Grafik perbandingan h terhadap t di Muaro Pijoan



Gambar 6. Grafik perbandingan h terhadap t^2 di Muaro Pijoan

Pembahasan

Percobaan ini bertujuan untuk menentukan nilai percepatan gravitasi (g) di tiga lokasi berbeda, yaitu mendalo, sungai duren, dan pijoan, dengan menggunakan metode gerak jatuh bebas. Prinsip dasar percobaan ini adalah bahwa suatu benda yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu akan mengalami percepatan konstan yang disebabkan oleh gaya gravitasi bumi.

Analisis data dilakukan dengan memplot ketinggian jatuh (h) terhadap kuadrat waktu (t^2) dan menerapkan regresi linear untuk menentukan nilai percepatan gravitasi (g) dari kemiringan (m) garis, di mana $g = 2 \times \text{Kemiringan } (m)$. Nilai g yang diperoleh dari regresi ini menjadi hasil utama karena secara statistik lebih valid dan stabil dibandingkan dengan perhitungan nilai g dari setiap titik data secara individual. Nilai g slope yang diperoleh dari ketiga lokasi menunjukkan kisaran yang konsisten dari $6,94 \text{ m/s}^2$ hingga $7,37 \text{ m/s}^2$. Secara rinci, nilai g untuk Mendalo, Sungai Duren, dan Muaro Pijoan berturut-turut adalah $7,19 \text{ m/s}^2$, $7,37 \text{ m/s}^2$, dan $6,94 \text{ m/s}^2$. Variasi nilai g antar lokasi hanya berkisar $0,1$ hingga $0,2 \text{ m/s}^2$, menunjukkan adanya konsistensi secara lokal meskipun nilainya secara keseluruhan menyimpang dari nilai teoritis $9,8 \text{ m/s}^2$.

Meskipun diperoleh konsistensi kecil antar lokasi, nilai g slope yang jauh lebih rendah daripada nilai teoritis menunjukkan adanya dominasi kesalahan sistematis yang signifikan dalam eksperimen ini. Analisis kritis menunjukkan bahwa penyimpangan ini tidak dapat secara definitif dikaitkan dengan faktor geografis sejati (seperti MDPL atau lintang), melainkan didominasi oleh kesalahan acak (*random error*) yang tinggi dalam pengukuran waktu. Bukti dari hal ini adalah tingginya nilai simpangan baku waktu t std pada beberapa titik, seperti $0,086 \text{ s}$ di Mendalo pada ketinggian $1,5 \text{ m}$. Simpangan baku yang besar ini secara langsung merefleksikan ketidakpastian (*uncertainty*) yang signifikan akibat waktu reaksi manusia (*human response time*) saat menggunakan stopwatch manual, yang mengindikasikan rendahnya presisi data waktu.

Tingkat ketidakpastian yang tinggi ini menyebabkan distorsi pada linearitas data h vs t^2 , menghasilkan kemiringan (m) regresi yang terlalu rendah dan, akibatnya, nilai g yang jauh di bawah nilai teoritis. Variasi kecil ($0,1$ hingga $0,2 \text{ m/s}^2$) antar lokasi juga kemungkinan besar merupakan residu dari kesalahan acak ini, bukan manifestasi dari perbedaan gravitasi lokal. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa validitas konsep Gerak Jatuh Bebas tetap terverifikasi ($h \propto t^2$), namun keterbatasan instrumen sederhana (*stopwatch manual*) dan tingginya simpangan baku waktu adalah faktor dominan yang mempengaruhi akurasi absolut hasil.

Hambatan udara dapat mempengaruhi hasil percobaan, walaupun pada benda dengan massa ringan. Gaya hambatan udara nya akan memperlambat percepatan benda, sehingga waktu jatuh benda akan menjadi sedikit lebih lama daripada nilai ideal nya. Dimana ini mengakibatkan, nilai g yang dihitung akan lebih kecil dari nilai sebenarnya. Hal ini bisa dilihat pada beberapa data diatas, dimana hasil perhitungan g lebih rendah dari hasil teori yaitu $9,8 \text{ m/s}^2$. Hal ini menegaskan pentingnya kondisi lingkungan yang terkendali dalam percobaan fisika untuk memperoleh hasil yang akurat dan konsisten.

Kesalahan lainnya itu berasal dari ketidakpastian pengukuran pada setiap ketinggian. Jika tinggi benda dijatuhkan lalu diukur dari titik yang tidak tepat (misalnya benda dijatuhkan dari bagian bawah tangan, bukan dari titik lepas benda), maka pada nilai h yang digunakan dalam data perhitungan sedikit adanya kesalahan. kesalahan kecil pun bisa menghasilkan selisih yang cukup besar pada nilai g , karena persamaan gravitasi sangatlah sensitif terhadap ketinggian dan waktu.

Berdasarkan hasil perhitungan rata-rata nilai g di setiap lokasi, dimana nilai percepatan gravitasi di lokasi pertama di mendalo yaitu sekitar $7,74 \text{ m/s}^2$, lalu lokasi yang kedua di sungai duren yaitu sekitar $7,75 \text{ m/s}^2$, dan lokasi yang ketiga di pijoan yaitu sekitar $8,09 \text{ m/s}^2$. Hal tersebut menunjukkan bahwa meskipun terdapat ketidakpastian saat percobaan berlangsung, secara keseluruhan percobaan yang telah dilakukan memberikan hasil yang cukup baik.

$$\bar{t} = \frac{\sum t_i}{n}$$

$$\bar{t} = \frac{(0,443 + 0,490 + 0,667 + 0,450 + 0,507 + 0,630 + 0,410 + 0,493 + 0,677)}{9}$$

$$\bar{t} = \frac{4,767}{9}$$

$$\bar{t} = 0,5297 \approx 0,530$$

Data pengukuran di lokasi ketiga yaitu Pijoan memiliki hasil yang paling konsisten dan mendekati nilai teori, dengan simpangan baku waktu (t_{std}) nya yang relatif kecil. Hal ini menandakan bahwa proses pengukuran waktu di lokasi ketiga ini lebih stabil dan berulang dengan baik. Perolehan data di lokasi pertama yaitu Mendalo terlihat variasi waktu yang lebih besar berada pada ketinggian 1,5 meter, mungkin diakibatkan pada respon waktu antara saat tiga kali pengukuran.

$$\sigma = \frac{\sum (t_i - \bar{t})^2}{(n - 1)}$$

$$\sigma = \frac{(0,443 - 0,530)^2 + (0,490 - 0,530)^2 + (0,667 - 0,530)^2 + (0,450 - 0,530)^2 + (0,507 - 0,530)^2 + (0,630 - 0,530)^2 + (0,410 - 0,530)^2 + (0,493 - 0,530)^2 + (0,677 - 0,530)^2}{(9 - 1)}$$

$$\sigma = \frac{0,0075 + 0,0016 + 0,0187 + 0,0072 + 0,0005 + 0,0100 + 0,0144 + 0,0014 + 0,0216}{8}$$

$$\sigma = \frac{0,0829}{8}$$

$$\sigma = \sqrt{0,01036}$$

$$\sigma = 0,1018$$

Percobaan yang telah selesai dilakukan ini juga memberikan gambaran penting mengenai bagaimana kesalahan kecil dalam pengukuran akan menghasilkan perbedaan yang nyata dalam hasil akhir. Ketelitian alat dan keterampilan pengamat sangatlah mempengaruhi akurasi hasil yang didapatkan, dalam fisika eksperimen. Percobaan menggunakan aplikasi Phyphox atau sensor waktu digital lainnya sangatlah disarankan agar hasil pengukuran bisa mendekati nilai teori gravitasi.

Data eksperimen pada ketiga lokasi menunjukkan hubungan kuadratik konsisten antara h dan t^2 (koefisien determinasi R^2 tinggi pada beberapa grafik), sehingga pola fungsional $h \propto t^2$ dapat dikatakan konsisten dengan prediksi teori GLBB. Namun, estimasi numerik g yang diperoleh dari kemiringan regresi cukup jauh dari nilai teoritis ($\approx 9,81 \text{ m/s}^2$). Analisis menunjukkan bahwa deviasi tersebut paling besar disebabkan oleh: (1) ketidakpastian pengukuran waktu menggunakan *stopwatch* manual (human reaction time), (2) pengaruh hambatan udara terutama jika diameter objek relatif besar terhadap massa, (3) variasi praktis pada titik pelepasan dan pengukuran h , serta (4) jumlah titik ketinggian terbatas yang menurunkan kekuatan statistik estimasi slope.

Perbandingan antar lokasi menunjukkan bahwa variasi kecil pada nilai slope antar lokasi lebih mungkin merefleksikan perbedaan kualitas pengukuran lapangan (mis. kestabilan pelepasan, kondisi angin) daripada variasi gravitasi lokal yang nyata. Hasil ini sejalan dengan studi empiris yang menunjukkan bahwa penggunaan sensor waktu otomatis seperti Phyphox atau sakelar mekanik (*mechanical switch*) secara signifikan mengurangi bias sistematis akibat waktu reaksi manusia dan meningkatkan presisi estimasi g (Staacks dkk., 2018). Selain itu, analisis statistik data eksperimen fisika menunjukkan bahwa peningkatan jumlah pengulangan dan titik ketinggian memperkuat reliabilitas estimasi slope regresi serta menurunkan sensitivitas terhadap fluktuasi acak. Dengan demikian, perbedaan slope antar lokasi dalam penelitian ini lebih rasional ditafsirkan sebagai variasi kualitas pengukuran eksperimental daripada perbedaan gravitasi lokal yang sesungguhnya.

KESIMPULAN

Penelitian berhasil menguji hubungan $h \propto t^2$ secara empiris pada tiga lokasi di Muaro Jambi dan mengestimasi nilai percepatan gravitasi dengan metode regresi linear melalui titik asal. Estimasi nilai g : Mendalo $\approx 7,25 \text{ m/s}^2$, Sungai Duren $\approx 7,68 \text{ m/s}^2$, Muaro Pijoan $\approx 7,17 \text{ m/s}^2$. Nilai ini lebih kecil dari nilai teoritis $9,81 \text{ m/s}^2$, dan deviasi didominasi oleh ketidakpastian pada pengukuran waktu (*stopwatch* manual) serta efek hambatan udara. Perbedaan yang ada masih dapat diterima karena dipengaruhi oleh ketidakpastian pengukuran dan faktor-faktor eksternal, seperti kondisi angin, presisi pengukur ketinggian, konsistensi saat pelepasan bola, dan ketepatan menghentikan *stopwatch*. Simpangan baku waktu yang relatif besar, terutama pada ketinggian yang lebih tinggi, menegaskan bahwa ketelitian pengamatan dan konsistensi metode sangat krusial dalam pengambilan data. Secara keseluruhan, eksperimen yang dilakukan telah berhasil mendemonstrasikan prinsip dasar gerak jatuh bebas dan memberikan nilai gravitasi yang berbeda di masing-masing wilayah. Penelitian selanjutnya disarankan menggunakan sensor waktu otomatis (Phyphox/mechanical switch), menambah jumlah ketinggian dengan interval seragam, mengeksplorasi variasi diameter/bentuk objek untuk mengkuantifikasi pengaruh hambatan udara, dan mencatat MDPL tiap lokasi bila ingin menghubungkan variabilitas geofisik lokal dengan nilai g .

REFERENSI

- Akhlis, I., & Nisa, Y. D. S. O. dan M. K. (2024). *Pemodelan dan Dampak Pembelajaran pada Materi Gerak Jatuh Bebas di Berbagai Jenjang Pendidikan : Kajian Meta- Analisis*. 3(2), 80–85. <https://doi.org/10.26877/lpt.v3i2.22051>

- Bara, F. M. (2021). ANALISIS PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN APLIKASI PHYPHOX PADA GERAK JATUH BEBAS. *Jurnal Luminous: Riset Ilmiah Pendidikan Fisika*, 2(2), 11. <https://doi.org/10.31851/luminous.v2i2.5923>
- Boimau, I., Boimau, A. Y., & Liu, W. (2021). Eksperimen Gerak Jatuh Bebas Berbasis Smartphone menggunakan Aplikasi Phyphox. *Seminar Nasional Ilmu Fisika dan Terapannya*, 67–75.
- Desilia Yuniati, Sriyono, N. N. (2020). Efektivitas Metode Eksperimen dan Demonstrasi dalam Meningkatkan Keterampilan Observasi Objek Fisika. *RADIASI: Jurnal Berkala Pendidikan Fisika*, 13, 1–6.
- Fitriwati, D., Sepudin, R. H., Hindasah, D. M., & Malik, A. (2025). *Eksperimen Gerak Jatuh Bebas: Kajian Hubungan Jarak dan Waktu dalam Menentukan Percepatan Gravitasi Bumi. Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains (JPFS)*. 8(2), 106–112.
- Harnsoongnoen, S., Srisai, S., Kongkeaw, P., & Rakdee, T. (2024). Improved Accuracy in Determining the Acceleration Due to Gravity in Free Fall Experiments Using Smartphones and Mechanical Switches. *Applied Sciences*, 14(6), 2632. <https://doi.org/10.3390/app14062632>
- Horstman, K., Trimble, V., & Trimble, V. (2019). A citation history of measurements of Newton 's constant of gravity. *Scientometrics*, 119(1), 527–541. <https://doi.org/10.1007/s11192-019-03031-0>
- Imam Sutaji, H., Warsito, A., & Bernandus, B. (2025). Eksperimen dan Perannya dalam Pemahaman Konsep Fisika. *Al-Khidmah Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 5(3), 867–874. <https://doi.org/10.56013/jak.v5i3.4812>
- Kauwo, C. J., Londa, T. K., & Komansilan, A. (2022). EFEKTIVITAS PHYPHOX SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN PADA EKSPERIMEN GERAK JATUH BEBAS. *Charm Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, 3(3), 35–39. <https://doi.org/10.53682/charmsains.v3i3.219>
- Langendorf, R., Schneider, S., & Klein, P. (2022). Extracting information from the Hertzprung-Russell diagram : An eye-tracking study. *Physical Review Physics Education Research*, 18(2), 20121. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.18.020121>
- Medellu, N. C., Zahran, M., Sari, I. M., & Utomo, T. (2023). Jurnal Phi Beberapa Kota di Indonesia dan Turki dengan Menggunakan Tracker. *Jurnal Phi: Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan.*, 9(2), 1–7.
- Miyaqi, I. A., & Barokah, N. (2023). *Computational Analysis for Free Fall Cases with Air Friction A . Introduction*. 3(1), 39–52. <https://doi.org/10.14421/impulse.2023.31-05>
- Muliawan, A., Satria, E., Taba, H. H. T., Siregar, J., Yani, A., Nugraha, A. S. A., & Widyastuti, H. (2021). *FISIKA TERAPAN*. Zahir Publishing.
- Muslim, A. (2021). RANCANG BANGUN ALAT BANTU PEMBELAJARAN GERAK JATUH BEBAS BERBASIS TIMER ARDUINO. *Jurnal Material dan Energi Indonesia*, 11(01), 44. <https://doi.org/10.24198/jme.v11i01.39494>
- Poernomo, J. B., Wiyanto, Rusilowati, A., Saptono, S., & Subali, B. (2022). *EVALUASI PEMBELAJARAN KONSEP DASAR IPA BERORIENTASI UNITY OF SCIENCES*. UIN Walisongo.
- Pratiwi, T. D., Yunita Widia Putri, Grita Tumpi Nagari, Sunarto, & Novia Fitri Azarah. (2024). Comparative analysis of the Earth's gravitational acceleration values using mathematical swing and spring methods: Analisis perbandingan nilai percepatan gravitasi bumi menggunakan metode ayunan matematis dan pegas. *Jurnal Sains*, 3(1), 1–5. <https://ejournal.itsnulampung.ac.id/ojs/index.php/journalsains/article/view/55>

- Setiawan, D., Supriyadi, S., & Ellianawati, E. (2022). Pengembangan Lembar Kerja Peserta Didik Gerak Jatuh Bebas Bermuatan STEM (Science, Teknologi, Engineering, And Mathematics) Untuk Meningkatkan Keterampilan Generik Sains Kelas X. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 13(1), 117–124. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v13i1.7859>
- Staacks, S., Hütz, S., Heinke, H., & Stampfer, C. (2018). Advanced tools for smartphone-based experiments: phyphox. *Physics Education*, 53(4), 045009. <https://doi.org/10.1088/1361-6552/aac05e>
- Subhan, M., Rahmawati, E., & Suswati, L. (2022). Variasi Ketinggian MDPL terhadap Nilai Percepatan Gravitasi Bumi pada Konsep Gerak Jatuh Bebas (GJB) untuk Pendekatan Pembelajaran. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 12(September), 831–837.
- Toda, S., Mala Tati, M. Y., Bhoga, Y. C., & Astro, R. B. (2020). PENENTUAN PERCEPATAN GRAVITASI MENGGUNAKAN KONSEP GERAK JATUH BEBAS. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 4(1), 30–37. <https://doi.org/10.37478/optika.v4i1.367>
- Winingsih, P., Kuswanto, H., Saputro, H., Erlangga, S. Y., Purnama, A. Y., Sebastian, R., Silvia, S., & Purwanto, J. (2023). Analysis of understanding of physics concepts through problem solving units review in free fall motion materials. *Revista Mexicana de Física E*, 20(2 Jul-Dec). <https://doi.org/10.31349/RevMexFisE.20.020205>
- Yuningsih, N., & Dewi, Y. C. (2022). Gaya Gesekan Udara Terhadap Benda yang Bergerak Vertikal Tanpa Kecepatan Awal. *Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar*, 13(01), 14–19. <https://doi.org/10.35313/irwns.v13i01.4337>