

Verifikasi Hukum Boyle dan Tekanan Hidrostatik dengan Barometer Digital PS-3203

Jelovendra Sumampouw¹⁾, Geraldly Pilat¹⁾, Megastin Massang Lumembang^{1)*}, Hesky Stevy Kolibu¹⁾

¹⁾Jurusan Fisika, Universitas Sam Ratulangi, Kota Manado, 95115, Indonesia

*Corresponding author. E-mail: megastinml@unsrat.ac.id

INFO ARTIKEL

Riwayat Artikel:

Diterima: 07 Januari 2026

Direvisi : 01 April 2026

Disetujui: 04 April 2026

Kata Kunci:

Hukum Boyle;
Tekanan gas;
Tekanan hidrostatik;
Sensor PS-3203;
Eksperimen fisika.

Keywords:

Boyle's Law;
Gas pressure;
Hydrostatic pressure;
PS-3203 sensor;
Physics experiment.

ABSTRAK

Penelitian ini membahas hubungan antara tekanan-volume gas dan tekanan-kedalaman cairan melalui eksperimen berbasis sensor PS-3203. Tujuannya adalah memverifikasi Hukum Boyle pada gas dan prinsip tekanan hidrostatik pada cairan secara kuantitatif menggunakan sensor tekanan digital. Pada percobaan gas, volume udara diubah menggunakan spuit suntik dan tekanan diukur otomatis. Hasil menunjukkan bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume, mendukung persamaan $PV = \text{konstan}$. Sementara pada cairan, tekanan meningkat linier terhadap kedalaman dengan gradien 0,096 kPa/cm, menghasilkan massa jenis air sebesar 979,6 kg/m³ dengan deviasi sekitar 2% dari nilai teoritis. Hasil ini menegaskan validitas kedua hukum tersebut dan menunjukkan efektivitas penggunaan sensor digital dalam meningkatkan ketelitian serta efisiensi pengambilan data eksperimen fisika. Dari kedua hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa sensor digital PS-3203 mampu memverifikasi Hukum Boyle dan tekanan hidrostatik secara akurat serta meningkatkan efisiensi proses eksperimen fisika.

ABSTRACT

This study investigates the relationship between gas pressure-volume behavior and liquid pressure-depth characteristics through experiments utilizing a PS-3203 pressure sensor. The objective is to quantitatively verify Boyle's Law for gases and the hydrostatic pressure principle for liquids using digital pressure measurements. In the gas experiment, the air volume was adjusted using a syringe, and the pressure was recorded automatically. The results demonstrate an inverse proportionality between pressure and volume, confirming the equation $PV = \text{constant}$. In the liquid experiment, pressure was observed to increase linearly with depth, with a gradient of 0,096 kPa/cm, corresponding to a water density of 979,6 kg/m³, indicating an approximate 2% deviation from the theoretical value. These findings validate both physical laws and demonstrate that the PS-3203 digital sensor can accurately verify Boyle's Law and hydrostatic pressure while improving measurement precision and experimental efficiency.

PENDAHULUAN

Tekanan merupakan besaran fisika fundamental dalam mekanika fluida yang berperan penting dalam menjelaskan perilaku gas dan cairan pada berbagai fenomena alam maupun aplikasi teknologi. Pada sistem gas, hubungan antara tekanan dan volume dijelaskan melalui Hukum Boyle, yang menyatakan bahwa untuk sejumlah gas tertentu pada suhu konstan, hasil kali tekanan dan volume gas bernilai konstan. Hubungan ini menunjukkan bahwa tekanan gas berbanding terbalik dengan volumenya, sehingga peningkatan tekanan akan menyebabkan penurunan volume gas, dan sebaliknya ([Meyrida Riana & Anggini, 2024](#)). Hukum Boyle banyak digunakan untuk menjelaskan fenomena gas

dalam sistem tertutup, seperti tabung berisi udara, alat ukur tekanan, serta perilaku gelembung gas di dalam cairan.

Namun demikian, penerapan Hukum Boyle memiliki batasan tertentu. Penelitian menunjukkan bahwa hukum ini berlaku secara optimal pada kondisi kuasi-statik, yaitu ketika perubahan tekanan berlangsung secara perlahan sehingga sistem gas dapat mencapai keadaan setimbang pada setiap tahap proses. Pada kondisi perubahan tekanan yang sangat cepat, efek dinamis seperti inersia gas dan osilasi volume dapat menyebabkan penyimpangan dari prediksi teoritis ([Kerr et al., 2023](#)). Oleh karena itu, verifikasi eksperimen Hukum Boyle memerlukan sistem pengukuran yang mampu merekam perubahan tekanan secara presisi dan *real-time*.

Berbeda dengan gas, pada fluida cair yang berada dalam keadaan diam berlaku prinsip tekanan hidrostatik. Tekanan hidrostatik didefinisikan sebagai tekanan yang dihasilkan oleh berat fluida itu sendiri pada suatu kedalaman tertentu. Besarnya tekanan ini dipengaruhi oleh massa jenis fluida, percepatan gravitasi, dan kedalaman dari permukaan fluida, sehingga tekanan meningkat secara linear seiring bertambahnya kedalaman. Prinsip ini selaras dengan Hukum Pascal yang menyatakan bahwa tekanan pada suatu titik dalam fluida diam ditransmisikan sama besar ke segala arah ([Weenink & Wingelaar, 2021](#)). Konsep tekanan hidrostatik menjadi dasar penting dalam berbagai aplikasi teknik, seperti sistem hidrolik, peralatan kelautan, dan pengukuran tekanan bawah air.

Eksperimen verifikasi hukum-hukum tekanan secara konvensional umumnya menggunakan manometer atau tabung U. Metode ini cukup efektif untuk pembelajaran dasar, namun memiliki keterbatasan seperti ketidakakuratan pembacaan skala, keterlambatan respons alat, serta potensi kesalahan kalibrasi ([PASCO Scientific, 2019, 2020](#)). Hal ini dapat menyebabkan deviasi hasil terhadap nilai teoritis.

Perkembangan sensor digital memberikan alternatif yang lebih presisi. Sensor tekanan digital PASCO memungkinkan pengukuran *real-time* dengan resolusi tinggi serta integrasi langsung dengan perangkat lunak analisis data. [Kurniawan dan Nugroho \(2021\)](#) menunjukkan bahwa penggunaan sensor PASCO menghasilkan hubungan tekanan-volume yang lebih stabil dibanding metode manual. [Sharma & Sinha \(2020\)](#) juga melaporkan bahwa pengukuran tekanan hidrostatik menggunakan sensor digital menghasilkan deviasi kurang dari 3% terhadap nilai teoritis.

Meskipun demikian, penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada verifikasi salah satu konsep, yaitu Hukum Boyle atau tekanan hidrostatik secara terpisah. Selain itu, belum banyak kajian yang membandingkan performa sensor tekanan yang sama pada dua medium berbeda, yaitu gas dan cairan, yang secara fisik memiliki karakteristik respon tekanan yang berbeda. Pada gas, tekanan sangat sensitif terhadap perubahan volume, sedangkan pada cairan tekanan bergantung pada kedalaman dan massa jenis fluida. Hal ini juga dilaporkan dalam penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa pengukuran tekanan pada fluida cair cenderung menghasilkan deviasi yang lebih kecil dibandingkan sistem gas karena sifat fluida yang lebih stabil ([Sharma & Sinha, 2020](#)). Berdasarkan hal tersebut, belum terdapat pendekatan eksperimen terpadu yang memanfaatkan satu sensor tekanan digital untuk memverifikasi dua hukum tekanan pada medium berbeda secara konsisten.

Penelitian ini bertujuan untuk memverifikasi Hukum Boyle pada sistem gas isothermal, memverifikasi prinsip tekanan hidrostatik pada fluida cair, dan mengevaluasi konsistensi dan akurasi sensor tekanan digital pada dua medium berbeda. Kontribusi utama penelitian ini adalah menunjukkan bahwa satu sensor tekanan digital (PS-3203) dapat digunakan secara terpadu untuk dua jenis eksperimen fisika yang berbeda, sehingga meningkatkan efisiensi, konsistensi pengukuran, dan potensi penerapan dalam praktikum fisika modern.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif dengan pendekatan verifikasi hukum fisika dasar. Eksperimen dilakukan untuk menguji dua hubungan utama, yaitu (1) hubungan antara tekanan dan volume gas (Hukum Boyle) serta (2) hubungan antara tekanan dan kedalaman cairan (prinsip tekanan hidrostatik). Desain eksperimen bersifat laboratorium terkontrol, di mana setiap variabel diatur secara sistematis untuk memperoleh data numerik yang dapat dianalisis secara kuantitatif. Kedua eksperimen dilakukan menggunakan sensor tekanan digital PASCO yang terhubung dengan perangkat lunak PASCO Capstone untuk akuisisi data *real-time*.

Ruang lingkup penelitian ini mencakup pengukuran dan analisis tekanan pada dua medium fluida, yaitu udara (gas) dan air (cairan). Objek penelitian berupa hubungan fisis antara tekanan dan variabel bebasnya:

1. Gas: volume udara dalam sistem tertutup.
2. Cairan: kedalaman sensor dari permukaan air.

Kondisi penelitian statis dan isothermal (suhu konstan).

Alat dan bahan yang digunakan di antaranya

1. Sensor tekanan PASCO PS-3203 (0–400 kPa; resolusi 0,01 kPa; akurasi ± 1 kPa).
2. *Interface* PASCO 850 Universal.
3. *Software* PASCO Capstone.
4. Spuit 20 mL (wadah gas).
5. Botol plastik 1 L berisi air.
6. Selang fleksibel kecil.
7. Penggaris 30 cm.
8. Laptop.

Eksperimen dilaksanakan di Laboratorium Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sam Ratulangi, Manado, pada semester ganjil tahun akademik 2025. Kegiatan dilakukan dalam ruang tertutup dengan suhu laboratorium dijaga stabil di kisaran $27 \pm 1^\circ\text{C}$ untuk menjaga kondisi isothermal selama pengukuran.

Data dikumpulkan melalui dua tahap eksperimen. Setiap pengukuran dilakukan sebanyak tiga kali pengulangan untuk memastikan konsistensi data. Nilai tekanan yang digunakan dalam analisis merupakan nilai rata-rata dari ketiga pengukuran tersebut. Pembacaan tekanan dilakukan setelah nilai yang ditampilkan sensor stabil, yaitu dengan menunggu sekitar 3–5 detik pada setiap variasi volume atau kedalaman.

1. Eksperimen 1: Hubungan Tekanan–Volume Gas (Hukum Boyle)
 - a. Spuit diisi udara dan dihubungkan ke sensor tekanan.
 - b. Volume udara divariasikan dari 2 mL hingga 20 mL dengan interval tertentu.
 - c. Tekanan diukur secara otomatis pada setiap variasi volume setelah nilai sensor stabil (± 3 –5 detik).
 - d. Setiap pengukuran dilakukan tiga kali, kemudian diambil nilai rata-rata sebagai data analisis.
 - e. Data direkam oleh perangkat lunak PASCO Capstone dan disimpan dalam format tabel digital.
2. Eksperimen 2: Hubungan Tekanan–Kedalaman Cairan (Tekanan Hidrostatik)
 - a. Botol plastik diisi air hingga penuh.
 - b. Ujung selang dihubungkan ke sensor dan dimasukkan ke dalam air dengan kedalaman bervariasi (0–20 cm).
 - c. Tekanan diukur secara otomatis pada setiap variasi kedalaman setelah nilai sensor stabil (± 3 –5 detik).
 - d. Setiap pengukuran dilakukan tiga kali, kemudian diambil nilai rata-rata sebagai data analisis.
 - e. Data dikumpulkan dan disimpan untuk analisis grafik.

Penelitian ini melibatkan variabel bebas, terikat, dan kendali. Variabel bebas berbeda pada tiap percobaan, yaitu volume gas (2–20 mL) pada percobaan Hukum Boyle dan kedalaman cairan (0–20 cm) pada percobaan tekanan hidrostatik. Variabel terikat pada kedua percobaan adalah tekanan (P), yang diukur menggunakan sensor tekanan digital PASCO dan direkam dalam satuan kPa melalui perangkat lunak PASCO Capstone. Variabel kendali meliputi suhu dan jenis fluida. Suhu dijaga pada $27 \pm 1^\circ\text{C}$ untuk mempertahankan kondisi isothermal, sedangkan fluida yang digunakan adalah air pada tekanan atmosfer normal.

Teknik Analisis Data

Data hasil penelitian dianalisis secara deskriptif kuantitatif untuk memverifikasi hubungan tekanan terhadap volume gas dan tekanan terhadap kedalaman cairan. Data tekanan yang diperoleh dari sensor digital PASCO PS-3203 diolah dalam bentuk tabel dan grafik menggunakan perangkat lunak PASCO Capstone.

Pada percobaan Hukum Boyle, hubungan antara tekanan (P) dan volume gas (V) mengikuti persamaan $PV = \text{Konstan}$, yang menunjukkan bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume pada kondisi isothermal. Oleh karena itu, hubungan tersebut dapat dilinierkan dengan menggunakan transformasi kebalikan volume ($1/V$). Selanjutnya, hubungan antara tekanan (P) dan $1/V$ dianalisis menggunakan regresi linear untuk memperoleh hubungan empiris antar variabel serta menentukan koefisien determinasi (R^2) sebagai indikator kesesuaian data terhadap model teoritis. Nilai R^2 digunakan secara luas dalam eksperimen fisika untuk menilai kekuatan hubungan antara variabel terikat dan variabel bebas serta kualitas kecocokan model regresi terhadap data pengukuran (Kerr et al., 2023). Penggunaan analisis regresi dan evaluasi kuantitatif terhadap kesesuaian model teoritis dengan data eksperimen merupakan praktik umum dalam laboratorium fisika modern untuk meningkatkan validitas konseptual dan analitis mahasiswa (Holmes et al., 2017).

Pada percobaan tekanan hidrostatik, hubungan antara tekanan (P) dan kedalaman cairan (h) mengikuti persamaan $P = P_0 + \rho gh$. Persamaan ini menunjukkan bahwa tekanan meningkat secara linear terhadap kedalaman. Berdasarkan hubungan tersebut, data tekanan dianalisis sebagai fungsi kedalaman melalui grafik P terhadap h. Regresi linear digunakan untuk menentukan gradien yang merepresentasikan besaran ρg , sehingga massa jenis fluida dapat dihitung secara kuantitatif. Pendekatan ini telah terbukti efektif dalam menentukan massa jenis fluida dengan deviasi yang rendah terhadap nilai teoritis (Weenink & Wingelaar, 2021).

Selanjutnya, dilakukan perhitungan *error* relatif untuk membandingkan nilai hasil eksperimen dengan nilai teoritis guna mengevaluasi tingkat akurasi pengukuran. Evaluasi akurasi hasil pengukuran biasanya dilakukan dengan menghitung persentase *error* relatif terhadap nilai teori, sebagaimana digunakan dalam berbagai kajian pendidikan fisika dan pengukuran alat industri (Hernández-Vásquez et al., 2023).

Untuk menilai kestabilan dan konsistensi data pengukuran tekanan dan volume, deviasi standar dihitung sebagai ukuran sebaran data terhadap nilai rata-rata. Selain itu, deviasi relatif atau *Relative Standard Deviation* (RSD) digunakan untuk menilai presisi pengukuran, di mana nilai RSD yang kecil menunjukkan tingkat konsistensi data yang baik. Parameter statistik ini umum digunakan dalam analisis data eksperimen fisika dan pengukuran berbasis sensor (Sharma & Sinha, 2020).

Interpretasi hasil dilakukan dengan membandingkan nilai eksperimen dengan teori yang berlaku serta hasil penelitian terdahulu, sehingga diperoleh evaluasi kuantitatif mengenai keakuratan sensor tekanan digital PASCO dalam memverifikasi Hukum Boyle dan prinsip tekanan hidrostatik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

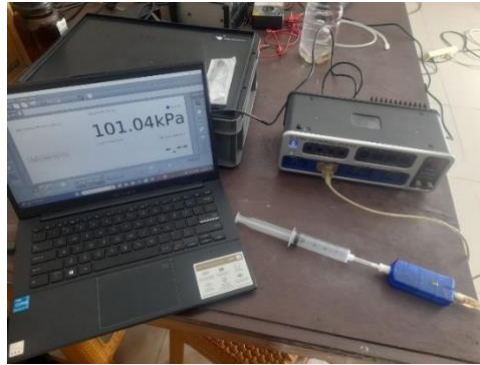
Hasil penelitian ini terdiri atas dua bagian utama, yaitu hasil verifikasi Hukum Boyle pada gas dan hasil verifikasi prinsip tekanan hidrostatik pada cairan. Data diperoleh secara langsung dari pembacaan sensor tekanan digital PASCO yang terhubung dengan perangkat lunak PASCO Capstone secara *real-time*. Setiap pengukuran dilakukan dalam tiga kali pengulangan untuk menjaga konsistensi hasil.

Hasil Eksperimen Tekanan–Volume Gas (Hukum Boyle)

Sebelum analisis data, ditampilkan alat dan bahan pada Gambar 1 serta dokumentasi eksperimen tekanan–volume gas sebagai gambaran pelaksanaan percobaan pada Gambar 2.



Gambar 1. Alat dan bahan eksperimen tekanan–volume gas



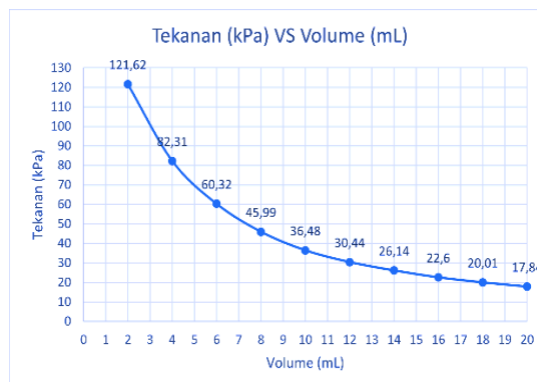
Gambar 2. Dokumentasi eksperimen tekanan-volume gas

Gambar 1 memperlihatkan konfigurasi alat yang digunakan dalam eksperimen Hukum Boyle, di mana sensor tekanan digital PASCO PS-3203 dihubungkan dengan spuit yang berfungsi sebagai sistem gas tertutup; volume udara divariasikan dengan menggerakkan piston spuit sehingga perubahan volume dapat dikontrol secara langsung, sementara tekanan gas diukur secara *real-time* menggunakan perangkat lunak PASCO Capstone yang terintegrasi dengan sensor. Gambar 2 selanjutnya menunjukkan pelaksanaan eksperimen di laboratorium, khususnya proses pengambilan data berupa hubungan antara tekanan dan volume gas, di mana variasi volume dilakukan secara bertahap dan nilai tekanan direkam secara otomatis untuk meminimalkan kesalahan pembacaan. Pada percobaan pertama, volume udara di dalam spuit divariasikan dari 2 mL hingga 20 mL, dan setiap perubahan volume diikuti dengan pencatatan tekanan oleh sensor digital, sehingga diperoleh data yang kemudian disusun secara sistematis dan disajikan dalam Tabel 1 untuk analisis lebih lanjut.

Tabel 1. Data hubungan antara tekanan dan volume gas

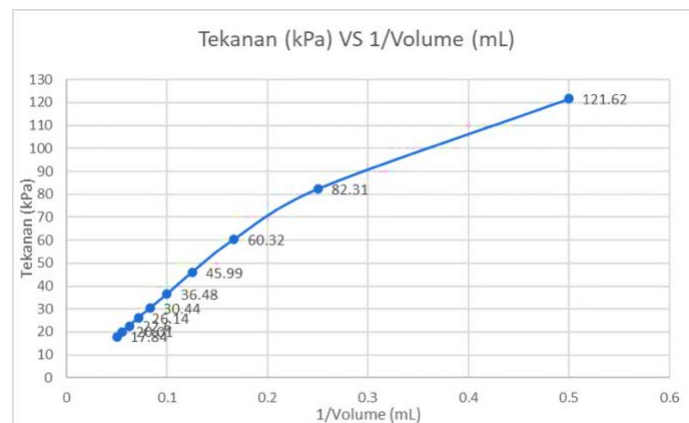
Volume (mL)	Tekanan (kPa)
2	121.62
4	82.31
6	60.32
8	45.99
10	36.48
12	30.44
14	26.14
16	22.60
18	20.01
20	17.84

Dari Tabel 1 terlihat bahwa tekanan menurun seiring bertambahnya volume. Ketika volume dinaikkan sepuluh kali lipat (dari 2 mL menjadi 20 mL), tekanan turun dari 121.62 kPa menjadi 17.84 kPa. Pola ini sesuai dengan Hukum Boyle, di mana tekanan berbanding terbalik dengan volume gas. Hubungan tersebut divisualisasikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik hubungan tekanan (P) terhadap volume (V)

Dari grafik hubungan tekanan (P) terhadap volume (V) diperoleh kurva berbentuk hiperbola. Secara kuantitatif, ketika volume gas dinaikkan dari 2 mL menjadi 20 mL, tekanan menurun dari 121,62 kPa menjadi 17,84 kPa. Perubahan ini menunjukkan bahwa peningkatan volume sebesar sepuluh kali lipat menyebabkan penurunan tekanan yang sebanding, sehingga hasil kali tekanan dan volume (PV) berada pada kisaran nilai yang relatif konstan, yaitu sekitar 360 kPa·mL. Bentuk kurva hiperbola ini secara langsung merepresentasikan hubungan invers antara tekanan dan volume sebagaimana dinyatakan dalam Hukum Boyle, yaitu bahwa tekanan berbanding terbalik dengan volume pada kondisi suhu konstan. Hal ini menegaskan proses kompresi dan ekspansi gas berlangsung mendekati kondisi isothermal selama eksperimen.



Gambar 4. Grafik hubungan tekanan (P) terhadap 1/volume (V)

Untuk memperjelas kesesuaian data eksperimen dengan Hukum Boyle, data tekanan (P) diplot terhadap kebalikan volume ($1/V$), sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik tersebut memperlihatkan hubungan linier yang sangat jelas antara tekanan dan $1/V$, yang menunjukkan bahwa tekanan gas berbanding lurus dengan kebalikan volumenya. Analisis regresi linear terhadap grafik P terhadap $1/V$ menghasilkan persamaan umum sesuai Persamaan 1.

$$P = m\left(\frac{1}{V}\right) + b \quad (1)$$

Dengan nilai koefisien determinasi $R^2 = 0,984$, menandakan tingkat korelasi yang kuat antara kedua variabel. Hasil ini sejalan dengan perkembangan eksperimen fisika modern berbasis sensor digital, yang menunjukkan bahwa penggunaan sistem akuisisi data mampu meningkatkan kestabilan dan akurasi pengukuran tekanan dalam sistem gas (Sujito et al., 2024). Selain itu, penggunaan sensor dalam eksperimen fisika juga terbukti menghasilkan data yang lebih konsisten dan minim gangguan dibandingkan metode konvensional (Xu et al., 2025). Hasil ini mengonfirmasi bahwa data eksperimen memiliki kesesuaian yang sangat baik dengan model teoritis Hukum Boyle, yaitu $P \propto 1/V$.

Selain itu, hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai hasil kali tekanan dan volume (PV) berada pada kisaran yang relatif konstan, yaitu sekitar 360 kPa·mL, yang mengindikasikan bahwa proses kompresi dan ekspansi gas berlangsung mendekati kondisi isothermal selama eksperimen. Linearitas grafik ini sekaligus menunjukkan bahwa penggunaan sensor tekanan digital PASCO PS-3203 mampu menghasilkan data yang stabil, presisi, dan konsisten.

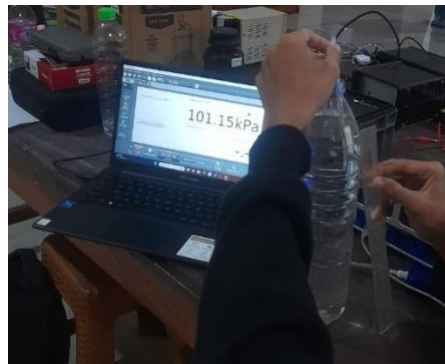
Meskipun demikian, masih terdapat deviasi standar sebesar 10,46%, yang masih berada dalam rentang yang umum dijumpai pada eksperimen laboratorium pendidikan yang melibatkan pengukuran langsung dan akuisisi data digital (Pollard et al., 2021). Penyimpangan dari model gas ideal dalam eksperimen laboratorium pendidikan juga sering dikaitkan dengan keterbatasan asumsi isothermal serta respons sistem terhadap perubahan volume yang tidak sepenuhnya kuasi-statis (Porter & Heckler, 2020). Selain itu, faktor eksperimental seperti kemungkinan kebocoran kecil pada sistem, gesekan pada piston spuit, serta keterbatasan respon sensor terhadap perubahan tekanan yang cepat turut berkontribusi terhadap deviasi yang diamati.

Hasil Eksperimen Tekanan–Kedalaman Cairan (Tekanan Hidrostatik)

Eksperimen kedua dilakukan untuk menguji hubungan antara tekanan dan kedalaman fluida. Gambar 5 menunjukkan alat dan bahan serta dokumentasi eksperimen tekanan hidrostatik ditunjukkan Gambar 6.



Gambar 5. Alat dan bahan eksperimen tekanan–kedalaman cairan



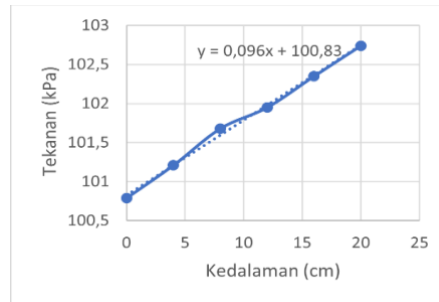
Gambar 6. Dokumentasi eksperimen tekanan–kedalaman cairan

Gambar 5 menunjukkan konfigurasi alat pada eksperimen tekanan hidrostatik, di mana sensor tekanan dihubungkan dengan selang yang dimasukkan ke dalam fluida untuk mengukur tekanan pada berbagai kedalaman; kedalaman diukur menggunakan penggaris sebagai acuan posisi sensor, sedangkan tekanan direkam secara *real-time* melalui perangkat lunak PASCO Capstone yang terintegrasi dengan sistem pengukuran. Gambar 6 selanjutnya menunjukkan proses pelaksanaan eksperimen di laboratorium, khususnya saat pengambilan data dengan memvariasikan kedalaman sensor di dalam air untuk memperoleh hubungan antara tekanan dan kedalaman. Dalam percobaan ini, sensor tekanan PASCO dihubungkan melalui selang kecil yang dimasukkan ke dalam botol berisi air, kemudian kedalaman divariasikan secara bertahap dari 0 hingga 20 cm, dan setiap perubahan kedalaman diikuti dengan pencatatan nilai tekanan secara otomatis, sehingga data hasil pengukuran dapat disusun secara sistematis dan disajikan dalam Tabel 2 untuk dianalisis lebih lanjut.

Tabel 2. Data hubungan antara tekanan dan kedalaman cairan

Kedalaman (cm)	Tekanan (kPa)
2	100.79
4	101.21
8	101.68
12	101.95
16	102.35
20	102.74

Dari Tabel 2 terlihat bahwa tekanan meningkat seiring bertambahnya kedalaman cairan. Grafik hubungan linier antara tekanan dan kedalaman ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik hubungan tekanan (P) terhadap kedalaman (h)

Hasil regresi linear antara tekanan dan kedalaman menghasilkan Persamaan 2.

$$P = ah + b \quad (2)$$

Berdasarkan hasil analisis regresi linear antara tekanan hidrostatik dan kedalaman fluida seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 3.

$$P = 0.096h + 100.83 \quad (3)$$

dengan nilai $R^2 = 0,9963$, yang menunjukkan hubungan linear yang kuat antara tekanan dan kedalaman.

Dengan :

P adalah tekanan hidrostatik dalam satuan kPa,

h adalah kedalaman fluida dalam satuan cm.

Secara teoritis, tekanan hidrostatik dalam fluida diam yang ditunjukkan pada Persamaan 4.

$$P = P_0 + \rho gh \quad (4)$$

Dalam persamaan tersebut, gradien (*slope*) grafik P terhadap h merepresentasikan besaran ρg . Nilai *slope* sebesar 0,096 kPa/cm setara dengan 9600 Pa/m. Dengan menggunakan nilai percepatan gravitasi $g = 9,8 \text{ m/s}^2$, massa jenis fluida dapat dihitung menggunakan Persamaan 5.

$$\rho = \frac{\text{slope}}{g} \quad (5)$$

Substitusi nilai *slope* ke dalam Persamaan (5) menghasilkan:

$$\rho = \frac{0.096 \times 10^3}{9.8} = 979.6 \text{ kg/m}^3$$

Nilai ini mendekati massa jenis teoritis air sebesar 1000 kg/m^3 dengan deviasi sekitar 2%, sehingga menegaskan bahwa hasil pengukuran memiliki tingkat akurasi yang baik. Hasil yang diperoleh juga konsisten dengan penelitian [Angjelina et al., \(2023\)](#) yang menunjukkan bahwa hubungan tekanan hidrostatik dan kedalaman bersifat linear dengan nilai koefisien determinasi yang sangat tinggi ($R^2 \approx 0,998$), menandakan kesesuaian yang sangat baik dengan model teoritis. Selain itu, penelitian [Madani et al., \(2023\)](#) juga menunjukkan bahwa sensor tekanan modern memiliki sensitivitas tinggi terhadap perubahan tekanan hidrostatik, sehingga mampu merepresentasikan hubungan linear tekanan–kedalaman secara akurat. Intersep grafik yang mendekati tekanan atmosfer mengonfirmasi bahwa tekanan awal fluida pada permukaan mengikuti kondisi lingkungan, sehingga model teoritis yang digunakan sesuai.

Kemiringan grafik yang merepresentasikan pg menegaskan bahwa hubungan antara tekanan dan kedalaman sesuai dengan teori hidrostatis. Linearitas grafik yang diperoleh menunjukkan bahwa tekanan hidrostatis sepenuhnya dikontrol oleh kedalaman fluida, yang sejalan dengan karakteristik fluida statis sebagaimana dilaporkan dalam studi eksperimental terbaru berbasis sensor digital (Angjelina et al., 2023). Perbedaan kecil antara nilai eksperimen dan teoritis dapat disebabkan oleh ketidakpastian dalam pengukuran kedalaman, adanya gelembung udara kecil di dalam selang atau di sekitar sensor, serta keterbatasan resolusi alat ukur. Temuan ini konsisten dengan penelitian Sharma dan Sinha (2020), yang menunjukkan bahwa pengukuran tekanan hidrostatis menggunakan sensor digital modern menghasilkan deviasi kurang dari 3% terhadap nilai teoritis. Hasil ini menunjukkan bahwa hubungan tekanan pada fluida cair memiliki tingkat linearitas yang lebih tinggi dibandingkan pada gas, yang ditunjukkan oleh nilai koefisien determinasi (R^2) yang lebih besar. Hal ini mengindikasikan bahwa sistem hidrostatis cenderung lebih stabil dibandingkan sistem gas, yang lebih sensitif terhadap perubahan kondisi eksperimen seperti variasi volume dan ketidaksempurnaan proses isothermal.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen, baik pada Hukum Boyle maupun tekanan hidrostatis, diperoleh bahwa hubungan antara tekanan dan volume gas, serta tekanan terhadap kedalaman air, telah sesuai dengan teori yang berlaku. Penelitian ini berhasil memverifikasi Hukum Boyle dan prinsip tekanan hidrostatis menggunakan sensor tekanan digital PASCO PS-3203. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa tekanan gas berbanding terbalik dengan volume, dengan nilai PV yang relatif konstan, serta tekanan fluida meningkat secara linear terhadap kedalaman dengan deviasi sekitar 2% dari nilai teoritis.

Kontribusi utama penelitian ini adalah keberhasilan penggunaan satu sensor tekanan digital untuk memverifikasi dua konsep tekanan pada medium yang berbeda, yaitu gas dan cairan, dalam satu rangkaian eksperimen terpadu. Pendekatan ini menunjukkan keunggulan dalam hal efisiensi alat, konsistensi pengukuran, serta kemudahan implementasi dalam praktikum fisika. Secara praktis, hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai dasar pengembangan modul praktikum fisika berbasis sensor digital yang lebih modern, akurat, dan mudah direplikasi.

Keterbatasan penelitian ini terletak pada rentang variasi data yang terbatas serta asumsi kondisi isothermal tanpa pengukuran suhu secara langsung. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan sensor suhu dan memperluas rentang pengukuran guna meningkatkan akurasi hasil eksperimen. Secara keseluruhan, hasil kedua eksperimen menunjukkan bahwa pendekatan berbasis sensor digital memberikan representasi kuantitatif yang lebih akurat dibandingkan metode konvensional dalam verifikasi hukum-hukum dasar fisika.

REFERENSI

- Angjelina, P., Prima, E. C., Riandi, R., & Anwar, S. (2023). Design of a Microcontroller-based Hydrostatic Pressure Experiment Tool in Science Education. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika Al-Biruni*, 12(1), 1. <https://doi.org/10.24042/jipfalbiruni.v12i1.15177>
- Hernández-Vásquez, J. D., Jutínico-Alarcon, A. L., Simanca-Celedon, E. A., Romero-Acuña, A., Orozco-Lozano, W., Villate-Fonseca, M., & Campuzano, M. J. (2023). Comparison of Different Methods to Evaluate Measurement Uncertainty in Bimetallic Thermometers Used in Industrial Equipment. *International Journal of Technology*, 14(2), 374–386. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i2.5549>
- Holmes, N. G., Olsen, J., Thomas, J. L., & Wieman, C. E. (2017). Value added or misattributed? A multi-institution study on the educational benefit of labs for reinforcing physics content. *Physical Review Physics Education Research*, 13(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.13.010129>
- Kerr, J. R., White, P. R., Leighton, T. G., Silva, L. G. M., & Kemp, P. S. (2023). Boyle's Law ignores dynamic processes in governing barotrauma in fish. *Scientific Reports*, 13(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-023-46125-9>
- Kurniawan, A., & Nugroho, R. (2021). Analisis hubungan tekanan–volume gas menggunakan sensor PASCO berbasis data real-time. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 17(2), 45–52.

- Madani, N. A., Purnamaningsih, R. W., Poespawati, N. R., Hamidah, M., Rahardjo, S., & Wibowo, D. K. (2023). Detection of Low Hydrostatic Pressure Using Fiber Bragg Grating Sensor. *International Journal of Technology*, 14(7), 1527–1536. <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i7.6714>
- Meyrida Riana, & Anggini. (2024). Hukum-Hukum Gas Ideal. *Pentagon : Jurnal Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam*, 2(3), 01–07. <https://doi.org/10.62383/pentagon.v2i3.188>
- PASCO Scientific. (2019). *Wireless Pressure Sensor (PS-3203) Technical Data Sheet*.
- PASCO Scientific. (2020). *PASCO Capstone User's Guide*.
- Pollard, B., Hobbs, R., Henderson, R., Caballero, M. D., & Lewandowski, H. J. (2021). Introductory physics lab instructors' perspectives on measurement uncertainty. *Physical Review Physics Education Research*, 17(1). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.17.010133>
- Porter, C. D., & Heckler, A. F. (2020). Effectiveness of guided group work in graduate level quantum mechanics. *Physical Review Physics Education Research*, 16(2). <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.16.020127>
- Sharma, P., & Sinha, A. (2020). Experimental study of hydrostatic pressure using modern digital sensors. *International Journal of Applied Physics Education*, 8(1), 22–28.
- Sujito, S., Sulur, S., Hudha, M. N., Winarno, N., & Sunardi, S. (2024). Enhanced learning: Designing bifocal modeling practicum tools with ESP32 for exploring kinetic theory of gases. *Momentum: Physics Education Journal*, 8(2). <https://doi.org/10.21067/mpej.v8i2.10046>
- Weenink, R. P., & Wingelaar, T. T. (2021). The Circulatory Effects of Increased Hydrostatic Pressure Due to Immersion and Submersion. *Frontiers in Physiology*, 12. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.699493>
- Xu, A., Ostfeld, A., Shao, Y., Zhang, T., Chu, S., Tian, Y., & Jian, D. (2025). Leveraging Spatiotemporal Redundancy for Sensor Data Imputation in Water Distribution Networks. *Water Resources Research*, 61(9). <https://doi.org/10.1029/2025WR040528>