

Inovasi *Low-Cost Venturimeter* Berbasis Botol Bekas Melalui Studi Eksperimental Aliran Fluida Terhadap Variasi Kecepatan Alir Pipa

Innovation of Low-Cost Venturimeter Based on Used Bottles Through Experimental Study of Fluid Flow Against Variations in Pipe Flow Velocity

Nabila Khoiriyah Amanda, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Anisa Latifah, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Shifa Khalisa, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Keisya Latifa Azzahra, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Riza Ariyani Nur Khasanah*, Departemen Pendidikan Fisika, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Fatiatun, Prodi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan, Universitas Sains Al-Qur'an, Wonosobo, Indonesia

*e-mail: rizaariyani@uny.ac.id (corresponding author)

Abstrak. Pembelajaran fluida dinamis sering terkendala oleh keterbatasan alat praktikum dan tingginya biaya pengadaan peralatan laboratorium. Oleh karena itu, diperlukan media pembelajaran yang sederhana, ekonomis, dan mampu memvisualisasikan konsep fisika secara nyata. Penelitian ini bertujuan merancang dan menguji venturimeter *low-cost* berbasis botol bekas sebagai alat peraga untuk menjelaskan hubungan antara luas penampang, kecepatan aliran, dan tekanan fluida berdasarkan Persamaan Kontinuitas dan Hukum Bernoulli. Metode yang digunakan adalah eksperimen kuantitatif dengan memanfaatkan botol plastik bekas sebagai pipa utama dan pipet plastik sebagai manometer. Pengujian dilakukan pada tiga variasi laju aliran, yaitu deras, sedang, dan rendah. Data berupa ketinggian kolom air dianalisis untuk menentukan kecepatan aliran, tekanan fluida, kesalahan relatif, dan derajat kepercayaan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan aliran meningkat pada penampang yang lebih kecil, sedangkan tekanan lebih tinggi pada penampang yang lebih besar. Nilai derajat kepercayaan berada di atas 90%, sehingga alat yang dikembangkan layak digunakan sebagai media pembelajaran fluida dinamis yang ekonomis dan ramah lingkungan.

Kata Kunci: *venturimeter, fluida dinamis, Hukum Bernoulli, alat peraga, botol bekas*

Abstract. Dynamic fluid learning is often constrained by limited laboratory equipment and the high cost of experimental instruments. Therefore, a simple and affordable learning medium is needed to visualize fluid mechanics concepts effectively. This study aimed to design and evaluate a low-cost venturimeter made from recycled plastic bottles as a learning tool for demonstrating the relationship between cross-sectional area, flow velocity, and fluid pressure based on the Continuity Equation and Bernoulli's Principle. The research employed a quantitative experimental method using recycled plastic bottles as the main pipe structure and plastic pipettes as manometers. Experiments were conducted under three flow-rate conditions: high, medium, and low. The collected data consisted of water column heights that were analyzed to determine flow velocity, fluid pressure, relative error, and confidence level. The

results showed that flow velocity increased in smaller cross-sectional areas, while pressure was higher in larger sections. The confidence level exceeded 80%, indicating that the developed device is suitable as an economical, environmentally friendly, and effective learning medium for dynamic fluid concepts.

Kata Kunci: *venturimeter, dynamic fluid, Bernoulli's Law, teaching aid, recycled plastic bottles*

PENDAHULUAN

Fluida merupakan zat yang dapat mengalir dan memiliki peranan penting dalam berbagai sistem teknik maupun kehidupan sehari-hari, seperti distribusi air, sistem perpipaan industri, irigasi, hingga transportasi zat cair dalam berbagai peralatan mekanik. Salah satu materi yang kerap dinilai sulit dipahami adalah fluida dinamis, khususnya pada penerapan Hukum Bernoulli dan Persamaan Kontinuitas. Konsep-konsep ini sangat krusial dalam berbagai bidang industri, seperti pada perancangan sistem perpipaan untuk transportasi berbagai jenis fluida. Keberhasilan tujuan pembelajaran materi ini sangat bergantung pada efektivitas proses di kelas, di mana media pembelajaran seperti alat peraga memainkan peran penting dalam menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik melalui visualisasi langsung. Penggunaan alat peraga seperti venturimeter terbukti dapat meningkatkan antusiasme, partisipasi aktif, serta pemahaman konsep siswa karena mengubah fenomena abstrak menjadi lebih konkret.

Namun, tantangan utama yang ditemukan di lapangan adalah belum optimalnya penggunaan alat peraga di sekolah karena keterbatasan fasilitas laboratorium serta biaya pengadaan alat praktikum yang cukup tinggi (Sultan et al., 2020). Pemahaman siswa terhadap konsep fluida seringkali terhambat karena sifatnya yang abstrak, di mana banyak siswa belum maksimal dalam merepresentasikan masalah fisika ke dalam bentuk visual yang tepat (Ahmad et al., 2024; Mumtaza et al., 2024). Kondisi ini mengakibatkan siswa cenderung bersifat pasif dalam mata pelajaran eksakta, sehingga diperlukan inovasi media pembelajaran yang mampu merangsang keaktifan mereka (Ahmad et al., 2024). Selain masalah biaya, efisiensi alat ukur di laboratorium juga sangat dipengaruhi oleh variabel fisis seperti viskositas dan suhu yang seringkali memerlukan perangkat pemantau tambahan (Rismaningsih & Nurhafsari, 2020). Masalah kerugian energi (*head loss*) akibat gesekan juga menjadi faktor teknis yang perlu dipahami secara mendalam melalui alat peraga yang akurat (Makbul et al., 2024).

Beberapa penelitian dalam lima tahun terakhir telah berupaya mengembangkan dan menganalisis alat ukur aliran fluida untuk menunjang pembelajaran maupun kebutuhan industri. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa sensitivitas venturimeter terhadap perubahan tekanan sangat dipengaruhi oleh karakteristik viskositas fluida yang mengalir (Atrisna & Lubis, 2017). Studi lain membandingkan performa venturimeter dengan *orifice meter*, di mana ditemukan bahwa venturimeter menghasilkan kecepatan aliran yang lebih besar meskipun memiliki risiko kerugian energi akibat gesekan (Makbul et al., 2024). Penggunaan alat peraga venturimeter dalam pembelajaran terbukti secara signifikan meningkatkan hasil belajar siswa hingga melampaui standar ketuntasan minimal (Ahmad et al., 2024). Namun, sebagian besar perangkat yang dikembangkan masih berbasis komponen laboratorium standar yang memiliki keterbatasan dalam hal biaya operasional dan ketersediaan alat (Mujib et al., 2021).

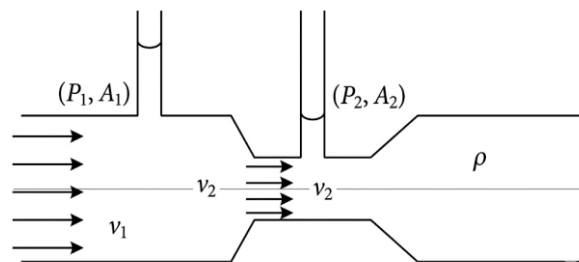
Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pengembangan alat peraga dan alat ukur fluida yang sederhana, ekonomis, dan mudah diakses, namun tetap mampu merepresentasikan konsep fisika secara akurat dalam pembelajaran. Hal ini membuka peluang untuk mengembangkan inovasi venturimeter *low-cost* berbasis limbah botol bekas yang ekonomis namun tetap memiliki akurasi ilmiah yang dapat dipertanggungjawabkan. Melalui pengembangan venturimeter *low-cost* berbasis botol bekas, penelitian ini diharapkan dapat memberikan media

pembelajaran yang mampu menunjukkan hubungan antara perubahan luas penampang pipa, kecepatan aliran, dan tekanan fluida berdasarkan prinsip kontinuitas dan Persamaan Bernoulli secara langsung melalui pengamatan eksperimen. Pemanfaatan botol bekas juga memberikan solusi ramah lingkungan sekaligus mempermudah visualisasi karakteristik aliran fluida dalam pembelajaran (Ahmad et al., 2024).

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan dan pengembangan venturimeter *low-cost* berbasis botol bekas sebagai alternatif alat ukur aliran fluida yang sederhana, ekonomis, dan ramah lingkungan. Selain itu, penelitian ini menganalisis pengaruh variasi kecepatan aliran fluida dalam pipa terhadap perubahan tekanan pada penampang besar dan kecil melalui studi eksperimental, serta melakukan perhitungan dan perbandingan nilai tekanan dan kecepatan aliran berdasarkan prinsip kontinuitas dan persamaan Bernoulli. Penelitian ini diharapkan dapat berkontribusi dalam pengembangan media pembelajaran mandiri yang efektif untuk meningkatkan pemahaman konsep fluida di kalangan peserta didik.

METODE

Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen dengan jenis penelitian kuantitatif. Melalui metode ini dilakukan pengujian secara langsung untuk mengamati fenomena mekanika fluida pada perangkat pipa venturi yang dilengkapi dengan manometer pipa terbuka (pipa kapiler). Skema alat penelitian ditunjukkan pada gambar 1 untuk memperlihatkan bentuk rancangan alat dan prinsip kerja aliran fluida pada sistem pipa venturi yang digunakan selama eksperimen.



Gambar 1. Skema pengukuran aliran fluida



Gambar 2. Rangkaian percobaan tabung venturimeter

Alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi botol plastik bekas sebagai badan pipa utama, galon besar sebagai wadah penampung air, pipet plastik bekas sebagai pipa kapiler vertikal, air sebagai fluida yang diuji, serta penggaris sebagai alat ukur dimensi dan ketinggian dan lem.

Dalam pelaksanaan eksperimen terdapat tiga jenis variabel yang digunakan. Pertama, variabel bebas dalam penelitian ini adalah laju aliran air yang diatur melalui bukaan katup atau keran air ke dalam tiga kondisi perlakuan, yaitu aliran deras, sedang, dan rendah. Kedua, variabel terikat yang diamati adalah ketinggian air pada pipa kapiler, yaitu tinggi permukaan

air yang naik pada kolom manometer vertikal dan diukur menggunakan penggaris. Ketiga, variabel kontrol yang dijaga tetap konstan selama eksperimen adalah diameter pipa horizontal dan pipa vertikal. Hal ini dilakukan dengan menggunakan pipa penampang besar (D_1) berdiameter 7 cm, pipa penampang kecil (D_2) berdiameter 3,5 cm, serta pipa kapiler vertikal berdiameter 1,1 cm secara konsisten sepanjang proses pengujian setelah dipastikan ukurannya menggunakan penggaris sebelum eksperimen dimulai.

Prosedur pengumpulan data dilakukan dengan merakit botol plastik dan pipet menjadi perangkat pipa venturi, kemudian mengalirkan air dari galon penampung ke dalam sistem tersebut. Laju aliran air diubah sesuai dengan tiga variasi variabel bebas yang telah ditentukan. Saat air mengalir melewati pipa horizontal, perubahan luas penampang dari pipa besar ke pipa kecil menyebabkan terjadinya perubahan kecepatan aliran sesuai Persamaan Kontinuitas (Elger et al., 2020), yang dinyatakan sebagai:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (1)$$

Perubahan kecepatan tersebut kemudian memicu penurunan tekanan fluida pada bagian penampang kecil yang dijelaskan melalui Persamaan Bernoulli (Elger et al., 2020). Untuk aliran ideal, persamaan Bernoulli dapat ditulis dalam bentuk:

$$P_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 + \rho g h_1 = P_2 + \frac{1}{2} \rho v_2^2 + \rho g h_2 \quad (2)$$

Perbedaan tekanan ini ditunjukkan oleh munculnya selisih tinggi permukaan air pada pipa manometer vertikal (pipet). Selanjutnya, tinggi kolom air pada masing-masing pipa (h_1) dan (h_2) diukur secara vertikal menggunakan penggaris pada setiap variasi laju aliran (deras, sedang, dan rendah). Tekanan pada fluida diam dapat ditentukan menggunakan persamaan tekanan hidrostatik (Elger et al., 2020):

$$P = P_0 + \rho g h \quad (3)$$

Data kuantitatif berupa selisih ketinggian air dihitung menggunakan persamaan:

$$\Delta h = |h_1 - h_2| \quad (4)$$

Nilai selisih ketinggian tersebut kemudian dianalisis menggunakan kombinasi persamaan kontinuitas dan hukum Bernoulli untuk menghitung kecepatan aliran fluida menggunakan persamaan:

$$v_1 = \sqrt{\frac{2gh}{\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1}} \rightarrow v_2 = \frac{A_1}{A_2} \cdot v_1 \quad (5)$$

Persamaan tersebut digunakan untuk memperkirakan kecepatan aliran berdasarkan perbedaan ketinggian kolom air pada tabung Venturi (Elger et al., 2020).

Hasil analisis digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara dimensi penampang pipa, laju aliran, dan distribusi tekanan di dalam sistem fluida secara deskriptif.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukan eksperimen menggunakan tabung venturimeter, diperoleh nilai skala terkecil (NST) mistar sebagai berikut:

$$\text{NST Mistar} = \text{batas ukur} / \text{jumlah skala} = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ cm}$$

$$\Delta h = \frac{1}{2} \text{NST Alat} = \frac{1}{2} \times 0,1 \text{ cm} = 0,05 \text{ cm}$$

$$\Delta A_1 = \left| \frac{\partial A_1}{\partial r_1} \right| \Delta r_1 = 2\pi r_1 \Delta r_1 = 2 \cdot 3,14 \cdot 3,5 \cdot 0,05 = 1,099 \text{ cm}^2$$

$$\Delta A_2 = \left| \frac{\partial A_2}{\partial r_2} \right| \Delta r_2 = 2\pi r_2 \Delta r_2 = 2 \cdot 3,14 \cdot 1,75 \cdot 0,05 = 0,5495 \text{ cm}^2$$

Selanjutnya, dilakukan pengukuran ketinggian air pada pipa besar dan pipa kecil yang disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil pengukuran ketinggian air pada tabung venturimeter

Laju Air	Ketinggian (cm)		
	h_1 (cm)	h_2 (cm)	$h_1 - h_2$ (cm)
Deras	10,5	6,4	4,1
Sedang	8,7	5,3	3,4
Rendah	6,6	4,2	2,4

Nilai ketinggian air pada pipa kapiler sesuai dengan tabel 1 kemudian dianalisis untuk menghitung nilai kecepatan aliran air pada pipa besar dan pipa kecil. Hasil perhitungan kecepatan aliran disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil analisis data kecepatan aliran air pada pipa besar dan kecil

Laju Air	h_1 (m)	h_2 (m)	$h_1 - h_2$ (cm)	v_1 (m/s)	v_2 (m/s)	KR (%)	DK (%)	Hasil pengukuran (m/s)
Deras	0,105	0,064	0,041	0,2315	0,9258	6,83	93,17	0,23±0,02
Sedang	0,087	0,053	0,034	0,2108	0,8432	6,88	93,12	0,21±0,01
Rendah	0,066	0,042	0,024	0,1771	0,7084	6,89	93,11	0,18±0,01

Hasil pada Tabel 2 menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran, maka selisih tinggi tekanan juga meningkat, yang berpengaruh terhadap perubahan kecepatan aliran pada penampang pipa. Nilai ketinggian air pada pipa kapiler sesuai dengan tabel 1 kemudian dianalisis untuk menghitung nilai kecepatan aliran air pada pipa besar dan pipa kecil. Adapun nilai kecepatan aliran air yang diperoleh disajikan pada Tabel 3.

Berdasarkan hasil pada Tabel 1 dan Tabel 2, terlihat adanya korelasi antara luas penampang, kecepatan aliran, dan tekanan fluida. Hasil pengukuran menunjukkan bahwa pada pipa dengan penampang lebih kecil (leher), kecepatan aliran fluida (v_2) selalu lebih besar dibandingkan pada pipa berpenampang besar (v_1). Sebagai contoh, pada kondisi aliran deras, kecepatan pada penampang kecil mencapai 0,9258 m/s, sedangkan pada penampang besar hanya 0,2315 m/s. Temuan ini mengkonfirmasi Asas Kontinuitas yang menyatakan bahwa debit aliran tetap konstan dalam sistem tertutup, sehingga penurunan luas penampang diimbangi oleh peningkatan kecepatan aliran (Zhang et al., 2024).

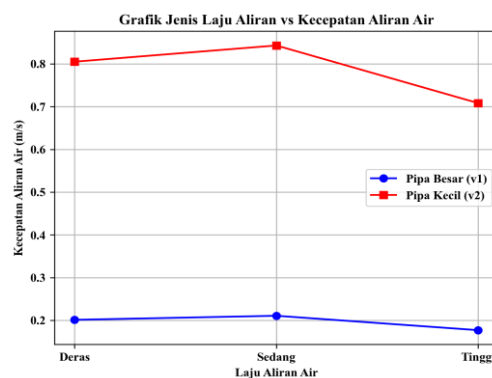
Tabel 3. Hasil analisis data tekanan aliran air pada pipa besar dan kecil

Laju Air	Nilai Tekanan (Pa)	
	Pipa Besar	Pipa Kecil
Deras	102.354	101.952,2
Sedang	102.77,6	101.844,4
Rendah	101.971,8	101.736,6

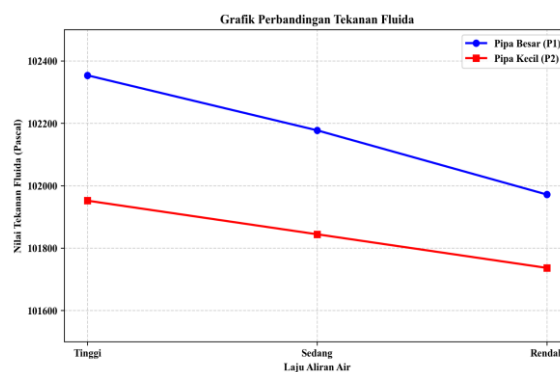
Berdasarkan hasil tersebut, terlihat bahwa tekanan pada pipa besar selalu lebih tinggi dibandingkan pipa kecil. Hal ini sesuai dengan prinsip Bernoulli, dimana peningkatan kecepatan aliran pada penampang yang lebih kecil menyebabkan penurunan tekanan fluida.

Peningkatan kecepatan pada penampang kecil berimplikasi pada penurunan tekanan fluida sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3, di mana tekanan pada pipa besar selalu lebih tinggi dibandingkan pipa kecil pada seluruh variasi laju aliran. Fenomena ini sesuai dengan Hukum Bernoulli, bahwa peningkatan energi kinetik akibat peningkatan kecepatan menyebabkan penurunan energi tekanan untuk mempertahankan energi mekanik fluida (Zhang et al., 2024). Data pada Tabel 1 juga menunjukkan bahwa semakin besar laju aliran, semakin besar selisih ketinggian pada pipa kapiler (h_1-h_2), yaitu 4,1 cm pada kondisi deras dan 2,4 cm pada kondisi rendah. Hal ini menunjukkan sensitivitas venturimeter terhadap perubahan debit, serta memperkuat bahwa beda tekanan yang ditunjukkan kolom cairan dapat merepresentasikan laju aliran secara kuantitatif (Rismaningsih & Nurhafsari, 2020 ; Zhang et al., 2024).

Hasil penelitian ini sejalan dengan studi oleh Sultan et al. (2020) yang menyatakan bahwa semakin besar luas penampang, maka kecepatan aliran semakin kecil dan tekanan semakin tinggi. Penelitian ini juga memperkuat temuan Nurhayati et al. (2021) yang melakukan analisis kuantitatif terhadap variabel tekanan, di mana diameter pipa yang lebih besar menghasilkan tekanan permukaan yang lebih tinggi. Selain itu, jika dibandingkan dengan penggunaan alat peraga standar laboratorium seperti dalam penelitian Muntaza et al. (2024), venturimeter berbasis botol bekas ini memiliki kinerja yang serupa dalam membuktikan perbedaan ketinggian di antara dua pipa kapiler. Meskipun berbasis material *low-cost*, nilai akurasi yang ditunjukkan melalui hasil pengukuran pada Tabel 2 tetap berada dalam rentang yang dapat diterima untuk tujuan edukasi dan eksperimental dasar. Hal ini menunjukkan bahwa modifikasi alat dari bahan limbah tidak mengurangi validitas ilmiah dari prinsip Bernoulli yang diuji (Cahyono & Sucahyo, 2017).



Gambar 3. Grafik laju aliran terhadap kecepatan aliran air



Gambar 4. Grafik perbandingan tekanan fluida

Visualisasi tren data pada Gambar 3 dan Gambar 4 memperjelas hubungan fisis antarvariabel tersebut secara kuantitatif dan visual. Pada Gambar 3, grafik menunjukkan bahwa kecepatan aliran air pada penampang kecil (v_2) secara konsisten jauh lebih tinggi dibandingkan pada penampang besar (v_1) untuk seluruh variasi laju aliran, yang membuktikan berlakunya Persamaan Kontinuitas akibat penyempitan luas penampang pipa. Sejalan dengan hal tersebut, Gambar 4 memperlihatkan bahwa tekanan fluida pada pipa besar selalu lebih tinggi daripada tekanan pada pipa kecil, di mana nilai tekanan pada kedua penampang berbanding lurus dengan laju aliran air. Penurunan tekanan pada bagian pipa yang memiliki kecepatan aliran lebih tinggi ini mengonfirmasi Hukum Bernoulli secara eksplisit, yaitu terjadinya konversi antara energi tekanan dan energi kinetik fluida saat melewati perubahan luas penampang.

Selain nilai kecepatan dan tekanan, tingkat ketelitian hasil eksperimen ini dianalisis secara kuantitatif melalui nilai Kesalahan Relatif (KR), Derajat Kepercayaan (DK), hasil pengukuran pada Tabel 2. Nilai KR pada kecepatan aliran air berturut-turut sebesar 6,83%; 6,88%; dan 6,89% untuk variasi laju aliran deras, sedang, dan tinggi. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun menggunakan material botol bekas (*low-cost*), alat ini tetap memiliki kualitas yang baik karena nilai KR masih berada di bawah ambang batas 20%. Hal ini sejalan dengan kriteria yang dikemukakan oleh Mumtaza et al. (2024), yang menyatakan bahwa nilai KR di bawah 20% membuktikan suatu eksperimen atau alat peraga memiliki mutu dan akurasi yang layak untuk tujuan edukasi.

Sementara itu, nilai DK yang diperoleh secara konsisten berada di atas 90%, yaitu berturut-turut sebesar 93,17%; 93,12%; dan 93,11%. Tingginya nilai DK ini mengonfirmasi bahwa data eksperimen sangat valid dalam menggambarkan fenomena fluida dinamis, khususnya prinsip Bernoulli dan Kontinuitas. Validitas ini didukung oleh studi Ahmad et al. (2024) yang menekankan bahwa alat peraga venturimeter yang mampu memberikan data konsisten sangat efektif dalam mengubah konsep abstrak menjadi konkret bagi peserta didik.

Nilai hasil pengukuran yang diperoleh, yaitu $(0,23 \pm 0,02)$ m/s, $(0,21 \pm 0,01)$ m/s, dan $(0,18 \pm 0,01)$ m/s, menunjukkan rentang ketidakpastian yang relatif kecil terhadap nilai kecepatan rata-rata. Hal ini membuktikan bahwa inovasi venturimeter sederhana ini mampu memberikan hasil pengukuran yang presisi dan stabil untuk skala praktikum dasar. Tingkat reliabilitas ini memenuhi standar pengembangan alat praktikum sebagaimana yang dijelaskan oleh (Rismaningsih & Nurhafsari, 2020), di mana alat sederhana tetap dapat mencapai kategori sangat baik jika hasilnya konsisten terhadap teori.

Munculnya kesalahan relatif dalam eksperimen ini dipengaruhi oleh beberapa faktor teknis selama proses pengambilan data. Faktor utama adalah kesalahan paralaks saat pembacaan ketinggian air pada pipa kapiler, di mana posisi mata yang tidak tegak lurus dengan permukaan air menyebabkan variasi dalam pembacaan skala mistar. Kendala serupa juga dilaporkan dalam penelitian Sultan et al. (2020), yang mencatat bahwa keterbatasan ketelitian mistar dan sudut pandang pembacaan merupakan sumber ketidakpastian utama dalam eksperimen venturimeter manual.

Selain itu, stabilitas aliran fluida menjadi tantangan tersendiri. Ketinggian air pada pipa besar cenderung berubah lebih cepat saat debit diubah, sehingga pengukuran seringkali dilakukan sebelum kondisi aliran benar-benar tunak (*steady*). Hal ini diperparah oleh faktor teknis lainnya seperti adanya gelembung udara di dalam selang, ketidaktepatan pada sambungan pipa, serta keterbatasan presisi alat ukur panjang. Namun, sebagaimana disimpulkan oleh (Mujib et.al., 2021), adanya deviasi kecil akibat faktor-faktor tersebut tidak mengurangi kegunaan alat peraga dalam meningkatkan keterampilan proses sains dan pemahaman konsep fluida dinamis.

Keberhasilan eksperimen ini dalam mempertahankan nilai DK di atas 90% dengan material botol bekas menunjukkan bahwa Hukum Bernoulli berlaku secara universal, baik dalam perangkat presisi tinggi maupun perangkat inovasi *low-cost*. Penelitian ini memberikan

modifikasi praktis terhadap teori pengajaran fisika dengan menunjukkan bahwa visualisasi konsep fluida dinamis yang sering dianggap abstrak dapat dilakukan melalui media yang konkret dan murah (Ahmad et al., 2024).

Implikasi dari penelitian ini sangat signifikan, khususnya dalam pendidikan di daerah dengan akses fasilitas laboratorium yang terbatas. Penggunaan botol bekas tidak hanya mengurangi biaya produksi alat praktikum secara drastis, tetapi juga mendukung aspek keberlanjutan melalui pemanfaatan limbah. Selain itu, alat ini terbukti mampu meningkatkan antusiasme dan pemahaman konsep siswa, sebagaimana yang juga ditemukan dalam studi Ahmad et al. (2024) mengenai efektivitas alat peraga venturimeter dalam pembelajaran. Dengan demikian, inovasi ini layak direkomendasikan sebagai media pembelajaran standar untuk materi fluida dinamis di tingkat sekolah menengah maupun perguruan tinggi.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa venturimeter berbasis botol bekas mampu merepresentasikan hubungan antara luas penampang, kecepatan aliran, dan tekanan fluida sesuai dengan Asas Kontinuitas dan Hukum Bernoulli. Kecepatan aliran meningkat pada penampang yang lebih kecil, sedangkan tekanan fluida lebih tinggi pada penampang yang lebih besar. Selain itu, semakin besar laju aliran, semakin besar pula selisih ketinggian kolom air pada pipa kapiler yang menunjukkan adanya perbedaan tekanan dalam sistem aliran.

Venturimeter yang dikembangkan memiliki tingkat ketelitian dan validitas yang baik, ditunjukkan oleh nilai kesalahan relatif yang berada di bawah 20% serta derajat kepercayaan yang konsisten di atas 90%. Meskipun menggunakan bahan sederhana berupa botol bekas, alat ini mampu memberikan hasil pengukuran yang stabil dan sesuai dengan teori fluida dinamis. Sehingga, venturimeter *low-cost* berbasis botol bekas layak digunakan sebagai media pembelajaran dan praktikum dasar fluida dinamis, terutama pada lingkungan pendidikan yang memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium. Pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan dengan meningkatkan presisi pengukuran dan menerapkan sistem pembacaan digital untuk mengurangi sumber kesalahan eksperimen.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan bantuan, dukungan, dan kontribusi selama proses penelitian ini. Penghargaan disampaikan kepada dosen pembimbing atas arahan dan masukan yang konstruktif, serta kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam proses perancangan alat, pengambilan data, dan penyelesaian penelitian. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pengembangan pembelajaran fisika, khususnya pada materi fluida dinamis.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmad, L. S., Dian Utami, Tessa Zerina Naryamastri, & Hari Anggito. (2024). Dampak Pembelajaran Fisika Menggunakan Alat Peraga Venturimeter pada Materi Fluida Dinamis. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Profesi Guru*, 7(1), 222–234. <https://doi.org/10.23887/jippg.v7i1.69230>
- Atrisna, A., & Lubis, P. H. M. (2017). Pengaruh Metode Demonstrasi Dengan Menggunakan Alat Peraga Pipa Venturi Terhadap Pemahaman Konsep Fluida Dinamis Kelas XI di SMA Unggul Negeri 8 Palembang. In *Seminar Nasional Pendidikan IPA Ke III Tahun 2025* (Vol. 1, No. 1, pp. 52-55).

- Cahyono, T. T., & Sucahyo, I. (2017). Pengembangan Alat Peraga Tabung Venturi untuk Melatihkan Keterampilan Proses Sains pada Materi Fluida Dinamik. *Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika*, 6(3), 246-249.
- Elger, D. F., LeBret, B. A., Crowe, C. T., & Roberson, J. A. (2020). *Engineering Fluid Mechanics* (12th ed.). John Wiley & Sons, Inc.
- Makbul, H., Syaiful, Z., & Hamsina, H. (2024). Uji Perbandingan Performa Venturimeter Dan Orifice Meter Dalam Pengukuran Aliran Fluida Dengan Perbedaan Buka-an Katup. *Jurnal Saintis*, 5(2), 234-239. <https://doi.org/10.35965/saintis.v5i2.708>
- Mujib, C., Suheli., & Setyoadi., Y (2021). Analisis Penurunan Tekanan Melalui Venturi Untuk Aliran Satu Fase. In *Proceeding Science and Engineering National Seminar* (Vol. 6, No. 1, pp. 21-30).
- Mumtaza, N., Ar-Rahim, N. F., Wakid, Z., & Suryandari, S. (2024). Alat Peraga Venturimeter Tanpa Manometer. *Al Kawnu : Science and Local Wisdom Journal*, 3(2), 17–25. <https://doi.org/10.18592/ak.v3i2.8561>
- Nurhayati, N., Samita, M., & Harahap, S. (2021). Pressure comparative analysis study through the Venture pipe with the difference diameter of the pipe. *Jurnal Phi Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*, 2(2), 62. <https://doi.org/10.22373/p-jhasilpengukurant.v2i2.9955>
- Rismaningsih, F., & Nurhafsari, A. (2020). Pengembangan Alat Praktikum Venturimeter sebagai Media Penunjang Perkuliahan Fisika Dasar Prodi Teknik Sipil Universitas Islam Syekh-Yusuf. *UNISTEK*, 7(1), 28–34. <https://doi.org/10.33592/unistek.v7i1.496>
- Sultan, A. D., Rizky, R., Hidayat, H., Mulyani, S., & Yusuf, W. A. (2020). Analysis of the Effect of Cross-sectional Area on Water Flow Velocity by Using Venturimeter Tubes. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 94–99. <https://doi.org/10.26618/jhasilpengukuran.v8i1.3199>
- Zhang, Z., Macian-Juan, R., & Wang, X. (2024). Numerical analysis of the venturi flowmeter in the liquid lead-bismuth eutectic circuit after long-term operation. *Nuclear Engineering and Technology*, 56(3), 1081–1090. <https://doi.org/10.1016/j.net.2024.01.036>