



Kasuari: Physics Education Journal (KPEJ) Universitas Papua

website: <https://journal.fkip.unipa.org/index.php/kpej>



Scientific Explanation Skills in Dynamic Fluid through Problem-Based Learning Assisted by PhET Simulations

Novaliza Nailunada, Lia Yuliati*, & Hari Wisodo

Physics Department, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, State University of Malang, Indonesia

*Corresponding author: lia.yuliati.fmipa@um.ac.id

Abstract: This study aims to explore students' scientific explanation skills through the implementation of the Problem-Based Learning (PBL) model assisted by PhET simulations on the topic of dynamic fluids among high school students. The research employed a mixed-method approach with an explanatory model involving 58 eleventh-grade students. Data were collected through tests and interviews. Quantitative data were analyzed using a paired sample *t*-test, *N*-gain calculation, and effect size, while qualitative data were analyzed through data collection, reduction, coding, and drawing conclusions. The analysis results showed that the scientific explanation skills of students in the experimental class increased significantly compared to the control class. The paired sample *t*-test results indicated a significant difference between the experimental and control classes, and the *N*-gain score of 0.4096 indicated a moderate improvement. More students in the experimental class were categorized as fully supported, while the control class was dominated by students in the invalid category. The implementation of PBL assisted by PhET simulations proved effective in enhancing students' abilities to construct claims, provide evidence, and present logical scientific reasoning. In this study, the integration of PBL and interactive technology in science learning is suggested as a means to improve students' scientific explanation skills.

Keywords: dynamic fluids, PhET simulations, problem-based learning, scientific explanation skills

Kemampuan Penjelasan Ilmiah pada Materi Fluida Dinamis melalui Problem-Based Learning Berbantuan Simulasi PhET

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi kemampuan penjelasan ilmiah siswa melalui penerapan model *Problem-Based Learning* (PBL) berbantuan simulasi PhET pada materi fluida dinamis pada siswa SMA. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode campuran dengan model *explanatory* yang melibatkan 58 siswa kelas XI. Teknik pengumpulan data melalui tes dan wawancara. Data kuantitatif dianalisis menggunakan *uji paired sample t*-test, perhitungan *N*-gain, dan *effect size*, sedangkan data kualitatif dianalisis melalui proses pengumpulan, reduksi, pengkodean, hingga penarikan kesimpulan. Hasil analisis menunjukkan bahwa kemampuan penjelasan ilmiah siswa kelas eksperimen meningkat secara signifikan dibandingkan kelas kontrol berdasarkan hasil *uji paired sample t*-test menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol serta nilai *N*-gain sebesar 0,4096 menunjukkan peningkatan dalam kategori sedang. Siswa pada kategori *fully supported* lebih banyak di kelas eksperimen dibandingkan kelas kontrol yang dominan pada kategori *invalid*. Penerapan PBL berbantuan PhET terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan siswa dalam menyusun klaim, memberikan bukti, dan menyajikan penalaran ilmiah yang logis. Penelitian ini mengusulkan penggunaan pendekatan PBL berbantuan teknologi interaktif dalam pembelajaran sains untuk meningkatkan kemampuan penjelasan ilmiah.

Kata kunci: fluida dinamis, kemampuan penjelasan ilmiah, *problem-based learning*, simulasi PhET

PENDAHULUAN

Pembelajaran fisika tidak hanya berfokus pada penguasaan konsep dan rumus, tetapi juga pada pengembangan keterampilan berpikir kritis dan analisis ilmiah. Salah satu keterampilan penting dalam pembelajaran sains adalah penjelasan ilmiah, yaitu kemampuan siswa untuk menjelaskan fenomena ilmiah secara logis dan berbasis bukti (Jian-Xin Yao & Yu-Ying Guo, 2018). Keterampilan ini mencakup kemampuan menyusun klaim, memberikan bukti, dan menyajikan penalaran yang logis terkait fenomena ilmiah (Moore & Wright, 2023). Penjelasan ilmiah tidak hanya membantu siswa memahami konsep fisika secara lebih mendalam, tetapi juga meningkatkan kemampuan mereka dalam menghubungkan konsep tersebut dengan fenomena di dunia nyata (Madu, 2020).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pemahaman siswa terhadap konsep fluida dinamis masih rendah. Frihanderi et al. (2018) melakukan penelitian menggunakan metode *four-tier-test* dan menemukan bahwa pemahaman siswa terhadap fluida dinamis hanya sebesar 22,86%, dengan 29,21% termasuk kategori miskonsepsi, 7,09% tidak memahami konsep, 34,29% memahami sebagian, dan 5,93% tidak dapat dikategorikan karena jawaban yang tidak lengkap. Salah satu temuan utama mengenai hukum kontinuitas menunjukkan bahwa meskipun beberapa siswa dapat menghitung kecepatan aliran fluida dengan benar menggunakan persamaan kontinuitas, mereka masih belum memahami konsep dasarnya. Banyak siswa yang salah menganggap bahwa fluida yang mengalir dalam pipa dengan luas penampang lebih besar memiliki kecepatan lebih kecil dan debit yang berubah-ubah. Hal ini bertentangan dengan hukum kontinuitas yang menyatakan bahwa debit fluida di setiap luas penampang adalah sama. Studi ini menunjukkan bahwa sebagian besar siswa hanya mampu menerapkan rumus tanpa memahami konsep dasar, khususnya pada subtopik kontinuitas. Akibatnya, mereka mengalami kesulitan dalam memberikan penjelasan ilmiah yang benar mengenai fenomena fisika yang terjadi. Dalam konteks fluida dinamis, keterampilan penjelasan ilmiah sangat penting karena topik ini melibatkan pemahaman tentang aliran fluida, hukum Bernoulli, dan aplikasi praktis seperti prinsip kerja pesawat terbang (Brian & Ytreberg, 2011).

Pembelajaran yang dinilai efektif untuk mengembangkan kemampuan penjelasan ilmiah adalah model *Problem-Based Learning* (PBL). Melalui PBL, siswa diberikan peluang untuk memecahkan masalah nyata secara kolaboratif, melakukan penyelidikan, dan membangun pemahaman mereka sendiri terhadap konsep yang dipelajari (Nicholus et al., 2023; Suliyati et al., 2018). Model pembelajaran ini turut memfasilitasi keterlibatan siswa secara aktif dalam kegiatan belajar, mengasah kemampuan berpikir kritis, memperkuat rasa percaya diri (Aggraini et al., 2024; Crisna et al., 2017), dan meningkatkan minat belajar mereka (Irmawati et al., 2022). Dengan PBL, siswa dapat terlibat langsung dalam pemecahan masalah nyata yang berkaitan dengan fluida dinamis, seperti perancangan sistem pipa, mekanisme kerja pompa, hingga aplikasi prinsip fluida dalam teknologi sehari-hari (Suyidno et al., 2024). Materi fluida dinamis mencakup konsep-konsep penting seperti hukum kontinuitas, persamaan Bernoulli, dan prinsip aliran fluida, yang sesuai dengan pendekatan berbasis masalah dalam PBL. Dengan demikian, pembelajaran fluida dinamis melalui model PBL tidak hanya memfasilitasi siswa dalam memahami konsep tetapi juga melatih dalam berpikir kritis siswa karena memberikan ruang bagi mereka untuk mengkaji permasalahan nyata dan menyusun solusi berdasarkan penalaran logis serta memberikan penjelasan ilmiah yang berbasis bukti (Wenno et al., 2021).

Penggunaan media pembelajaran yang mendukung model PBL juga sangat penting. Salah satu media yang efektif dalam pembelajaran fisika adalah simulasi *Physics Education Technology* (PhET). Simulasi PhET membantu mengubah konsep fisika yang

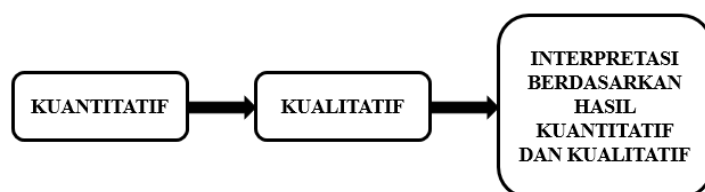
abstrak menjadi lebih konkret melalui visualisasi, memungkinkan siswa melakukan eksperimen virtual secara interaktif (Khofifah et al., 2024), memfasilitasi keterbatasan sarana dan prasarana pendukung pembelajaran (Yusuf et al., 2024). Dalam konteks fluida dinamis, simulasi PhET membantu siswa memahami konsep seperti hukum kontinuitas, persamaan Bernoulli, dan prinsip aliran fluida melalui visualisasi aliran partikel fluida dalam berbagai kondisi (Fadhlandini et al., 2018). Oleh karena itu, integrasi model PBL dengan simulasi PhET diharapkan dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa sekaligus mengasah kemampuan mereka dalam memberikan penjelasan ilmiah yang logis dan berbasis bukti. Model PBL berbantuan simulasi PhET menawarkan pendekatan berbasis pemecahan masalah nyata yang memungkinkan siswa terlibat aktif dalam proses pembelajaran (Rianti et al., 2024). Simulasi PhET menyediakan visualisasi interaktif yang membantu siswa memahami konsep-konsep abstrak dalam fluida dinamis, seperti pola aliran fluida dan perubahan tekanan dalam berbagai kondisi. Selain itu, Fadhlandini et al. (2018) menyatakan bahwa penggunaan simulasi dalam PBL dapat meningkatkan motivasi belajar siswa dan membantu mereka mengatasi kesulitan dalam memahami konsep yang kompleks. Simulasi PhET memungkinkan siswa untuk melakukan eksperimen virtual, mencoba berbagai variabel, dan mengamati langsung dampak dari perubahan tersebut terhadap fenomena fisika (Almadrones & Tadifa, 2024).

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan PBL berbantuan teknologi dapat meningkatkan kemampuan penjelasan ilmiah siswa (Karmila et al., 2021). Simulasi PhET telah banyak digunakan dalam berbagai topik fisika dan terbukti efektif dalam membantu siswa memahami konsep-konsep yang kompleks (Banda & Nzabahimana, 2023). Dalam konteks fluida dinamis, pendekatan ini membantu siswa memvisualisasikan konsep abstrak, seperti hukum kontinuitas dan penerapan hukum Bernoulli. Penggunaan simulasi dalam PBL juga mendukung pembelajaran berbasis fenomena yang relevan untuk mengembangkan keterampilan penjelasan ilmiah siswa.

Penelitian oleh Nicholus et al. (2023) juga menunjukkan bahwa penerapan model PBL dengan simulasi digital memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kemampuan kognitif siswa, terutama dalam mata pelajaran fisika. Hal ini diperkuat oleh temuan dari Uluçinar (2023), menyatakan bahwa siswa yang terlibat aktif dalam pembelajaran berbasis masalah menunjukkan pemahaman konsep yang lebih mendalam dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi kemampuan penjelasan ilmiah siswa dengan menerapkan model PBL berbantuan simulasi PhET pada topik fluida dinamis melalui perbandingan antara pembelajaran yang menerapkan model PBL yang dibantu simulasi PhET dengan pembelajaran konvensional.

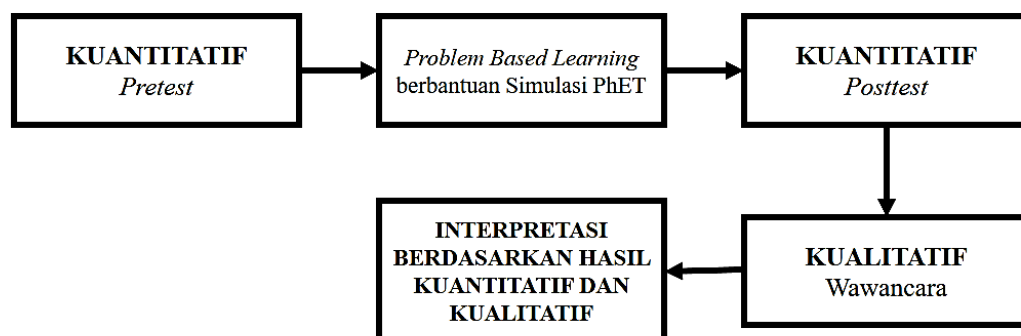
METODE

Penelitian ini menggunakan metode campuran (*mixed method*) dengan model *explanatory*. *Mixed method* model *explanatory* merupakan metode penelitian gabungan berurutan yang bersifat menjelaskan. Metode ini diawali dengan metode kuantitatif dan kemudian ditindaklanjuti melalui metode kualitatif. Desain penelitian ini diadaptasi dari Creswell (2014).



Gambar 1. Desain Penelitian *Explanatory Mixed Method* (Creswell, 2014)

Gambar 1 menunjukkan desain *explanatory mixed method* menurut Creswell (2014), yang dimulai dengan pengumpulan data kuantitatif dan dilanjutkan dengan data kualitatif untuk memperjelas hasil awal, kemudian diakhiri dengan interpretasi gabungan dari keduanya. Desain ini menjadi dasar dalam Gambar 2, yang digunakan untuk meneliti kemampuan pemecahan masalah dan penjelasan ilmiah siswa melalui model *Problem-Based Learning* berbantuan simulasi PhET. Data kuantitatif diperoleh dari pretest dan posttest, sementara data kualitatif dikumpulkan melalui wawancara, lalu keduanya dianalisis secara menyeluruh guna memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif.



Gambar 2. Desain Penelitian Eksplorasi Penjelasan Ilmiah melalui Model *Problem-Based Learning* berbantuan Simulasi PhET

Penelitian ini melibatkan 58 siswa kelas XI IPA SMA Negeri 1 Tumpang yang dipilih menggunakan teknik cluster random sampling. Instrumen yang dimanfaatkan dalam penelitian ini meliputi tes kemampuan penjelasan ilmiah dan wawancara. Pengumpulan data dilakukan melalui *pretest* dan *posttest* untuk memperoleh data kuantitatif mengenai kemampuan penjelasan ilmiah siswa sebelum dan setelah penerapan PBL berbantuan simulasi PhET. Selain itu, wawancara digunakan untuk memperdalam data kualitatif mengenai proses pembelajaran dan respon siswa.

Analisis data kuantitatif bertujuan untuk mengukur kemampuan penjelasan ilmiah siswa sebelum dan setelah penerapan model PBL yang didukung dengan simulasi PhET pada materi Fluida Dinamis. Analisis ini dilakukan dengan membandingkan hasil *pretest* dan *posttest*, yang diperoleh berdasarkan skor siswa dalam menjawab soal tes penjelasan ilmiah. Proses analisis mencakup perhitungan statistik deskriptif, uji normalitas, uji perbedaan antara skor *pretest* dan *posttest*, serta perhitungan nilai normalisasi (*N-gain*) dan ukuran efek (*effect size*).

Uji prasyarat analisis parametrik terdiri atas uji normalitas dan uji homogenitas. Uji normalitas menggunakan *Shapiro-Wilk* dengan bantuan *IBM SPSS Statistic v.23 for Windows* dengan ketentuan jika *sig.* > 0,05 maka data terdistribusi normal. Uji hipotesis dilakukan dengan *Paired sample t-test* untuk mengetahui pengaruh penerapan model PBL berbantuan PhET terhadap kemampuan penjelasan ilmiah siswa. Analisis ini juga menggunakan *IBM SPSS Statistic v.23* dengan ketentuan jika *sig.* < 0,05 maka perbedaan kedua kelompok dianggap signifikan.

Uji *N-Gain* dilakukan untuk mengetahui keefektifan penerapan model PBL berbantuan PhET. Nilai *N-Gain* diinterpretasikan menggunakan kategori dari Hake (1999) yang menunjukkan tingkat efektivitas pembelajaran. Data kualitatif dianalisis menggunakan

teknik analisis tematik untuk mendapatkan gambaran mendalam mengenai proses pembelajaran dan pemahaman konsep siswa.

Pengumpulan data kualitatif dilakukan melalui pengamatan langsung, hasil *posttest*, dan wawancara dengan siswa. Data kemudian direduksi dengan menyeleksi dan menyederhanakan data sesuai dengan tujuan penelitian. Proses pengkodean dilakukan dengan mengelompokkan data ke dalam kategori kemampuan penjelasan ilmiah sesuai dengan kriteria (Harris & Krajcik, 2008) yaitu *fully supported*, *partially supported*, *unsupported*, dan *invalid*. Pengelompokkan kategori tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Pengkategorian Kriteria Siswa Kemampuan Penjelasan Ilmiah
(Harris & Krajcik, 2008)

No	Kategori	Skor / Level	Deskripsi / Indikator
1.	<i>Fully Supported</i>	3	Klaim (<i>Claim</i>) tentang fenomena didukung oleh dua hal berikut : - Bukti (<i>Evidence</i>) dari pola tabel data tentang permasalahan yang diselidiki - Penalaran (<i>Reasoning</i>) mengenai jawaban dari permasalahan yang diselidiki
2.	<i>Partially Supported</i>	2	Klaim (<i>Claim</i>) mengenai fenomena didukung oleh bukti (<i>evidence</i>) atau penalaran (<i>reasoning</i>) yang tidak lengkap
3.	<i>Unsupported</i>	1	Klaim (<i>Claim</i>) mengarah pada fenomena tanpa disertai bukti (<i>evidence</i>) dari penalaran (<i>reasoning</i>)
4.	<i>Invalid</i>	0	Tidak ada Klaim (<i>Claim</i>) yang menunjukkan pada fenomena

Proses penarikan kesimpulan dilakukan dengan menganalisis perubahan konsep, cara siswa dalam memecahkan masalah, persentase kategori kemampuan penjelasan ilmiah, serta kesulitan-kesulitan yang dialami siswa pada materi fluida dinamis setelah diberikan intervensi berupa model PBL berbantuan simulasi PhET. Oleh karena itu, studi ini diharapkan menyajikan bukti empiris mengenai efektivitas model PBL berbantuan simulasi PhET dalam meningkatkan kemampuan penjelasan ilmiah siswa pada materi fluida dinamis serta memberikan gambaran yang komprehensif mengenai proses pembelajaran dan pemahaman konsep siswa dalam konteks ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari analisis data menunjukkan bahwa rerata skor *posttest* siswa di kelas eksperimen (77,83) lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol (60,00). Tidak hanya pada rata-rata skor, tetapi skor minimum, median, dan maksimum juga menunjukkan hasil yang lebih baik di kelas eksperimen. Uji normalitas menggunakan metode *Shapiro-Wilk* menunjukkan bahwa data *posttest* kedua kelas terdistribusi normal dengan nilai signifikansi di atas 0,05.

Uji statistik *paired samples t-test* memperlihatkan adanya perbedaan signifikan antara kemampuan penjelasan ilmiah siswa di kelas eksperimen dan kontrol, dengan nilai *Sig. (2-tailed)* sebesar 0,000 (di bawah 0,05). Selisih rata-rata antara kedua kelas mencapai 17,828, yang menunjukkan dampak positif dari penerapan model PBL berbantuan PhET.

Selain itu, untuk mengetahui tingkat efektivitas model pembelajaran, dilakukan uji *N-Gain*. Hasilnya, kelas eksperimen memperoleh nilai rerata *N-Gain* sebesar 0,5990 yang berada dalam kategori sedang. Sementara itu, kelas kontrol hanya mencapai rerata *N-Gain* sebesar 0,2905 yang berada pada kategori rendah. Dari hasil yang telah disebutkan, penelitian ini memberikan bukti nyata bahwa model PBL berbantuan PhET efektif dalam meningkatkan kemampuan penjelasan ilmiah siswa pada materi fluida dinamis. Penggunaan simulasi PhET memberikan visualisasi konkret dan mendukung siswa dalam

memahami konsep abstrak seperti hukum Bernoulli dan persamaan kontinuitas. Penelitian ini juga memberikan kontribusi positif terhadap pengembangan metode pembelajaran sains yang interaktif dan efektif, serta menjadi referensi bagi pendidik dalam merancang pembelajaran yang lebih berorientasi pada penjelasan ilmiah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari.

Kemampuan penjelasan ilmiah siswa pada persamaan Bernoulli dapat dilihat dari hasil data *posttest* kemampuan penjelasan ilmiah pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Kemampuan penjelasan ilmiah siswa setelah pembelajaran juga dapat diketahui pada pencapaian indikator soal, berdasarkan persentase jumlah siswa kategori level 0 (*invalid*), level 1 (*unsupported*), level 2 (*partially supported*), dan level 3 (*fully supported*). Adapun pengkategorian kemampuan penjelasan ilmiah siswa pada saat *posttest* kelas eksperimen dan kelas kontrol yang tercantum pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori Kemampuan Penjelasan Ilmiah pada Siswa

Kategori	Asas Kontinuitas		Asas Bernoulli		Pesawat Terbang	
	Kelas Eksperimen (%)	Kelas Kontrol (%)	Kelas Eksperimen (%)	Kelas Kontrol (%)	Kelas Eksperimen (%)	Kelas Kontrol (%)
<i>Invalid</i>	0	10	17	10	7	9
<i>Unsupported</i>	55	52	48	45	55	45
<i>Partially Supported</i>	34	31	28	21	24	21
<i>Fully Supported</i>	10	3	7	0	14	3

Hasil yang ditunjukkan pada Tabel 2 memperlihatkan adanya perbedaan kemampuan siswa dalam menjelaskan konsep ilmiah antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol pada materi asas kontinuitas, asas Bernoulli, dan prinsip kerja pesawat terbang. Secara keseluruhan, siswa pada kelas eksperimen lebih banyak menunjukkan kemampuan menjelaskan secara ilmiah yang lebih lengkap dan berkualitas, terutama pada tingkat *fully supported*, dibandingkan dengan siswa di kelas kontrol.

Perbedaan tersebut mengindikasikan bahwa penggunaan model PBL yang dipadukan dengan simulasi PhET berdampak positif terhadap kemampuan siswa dalam merumuskan penjelasan ilmiah. PBL mendorong siswa untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan kehidupan nyata melalui proses berpikir kritis dan eksploratif (Widyaningsih et al., 2024). Sementara itu, penggunaan simulasi PhET membantu memperjelas konsep fisika yang abstrak, sehingga siswa dapat membangun penalaran ilmiah yang lebih baik (Banda & Nzabahimana, 2023).

Kelas eksperimen menunjukkan persentase yang lebih rendah pada kategori *invalid* dan lebih tinggi pada kategori penjelasan *partially supported* dan *fully supported*. Hal ini mengindikasikan peningkatan kemampuan siswa dalam mengaitkan konsep dengan bukti ilmiah yang relevan. Peningkatan yang paling signifikan tampak pada materi pesawat terbang, di mana kemampuan memberikan penjelasan yang sepenuhnya didukung terlihat jauh lebih tinggi pada kelas eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah yang dibantu dengan simulasi mampu memberikan pengalaman belajar yang lebih mendalam dan bermakna. Temuan ini mengonfirmasi efektivitas strategi PBL berbantuan PhET sebagai pendekatan yang mampu mengembangkan keterampilan berpikir ilmiah siswa secara lebih optimal (Rianti et al., 2024).

Tabel 3. Kategori Kemampuan Penjelasan Ilmiah pada Asas Kontinuitas

Indikator soal Asas Kontinuitas	Disajikan gambar pipa yang memiliki 6 cabang, salah satu cabang blm diketahui debit dan arahnya. Siswa menjelaskan secara ilmiah apa yang terjadi jika debit pada pipa diperbesar		
Kategori	Jawaban siswa	Jumlah siswa	
		Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
<i>Invalid</i>	Klaim tidak lengkap	0	3
<i>Unsupported</i>	Klaim benar tanpa disertai dukungan	16	15
<i>Partially Supported</i>	Klaim benar didukung dengan menggunakan konsep persamaan kontinuitas dan debit aliran fluida : $Q_{masuk} = Q_{keluar}$	10	9
<i>Fully Supported</i>	Klaim benar didukung dengan menggunakan konsep persamaan kontinuitas dan debit aliran fluida sekaligus bukti secara matematis melalui persamaan kontinuitas $Q_{masuk} = Q_{keluar}$ $Q_{masuk} = (10 + 1 + 2) \text{ cm}^3/\text{s} = 13 \text{ cm}^3/\text{s}$ $Q_{keluar} = (8 + 6) \text{ cm}^3/\text{s} = 14 \text{ cm}^3/\text{s}$ Dari bukti melalui persamaan kontinuitas ditemukan bahwa Q_{masuk} sebesar $13 \text{ cm}^3/\text{s}$, sedangkan Q_{keluar} sebesar $14 \text{ cm}^3/\text{s}$ sedangkan dari persamaan kontinuitas adalah $Q_{masuk} = Q_{keluar}$ sehingga arah Q adalah masuk	3	1

Data hasil analisis kemampuan penjelasan ilmiah siswa pada indikator soal asas kontinuitas, hasil jawaban siswa menunjukkan bahwa kemampuan penjelasan ilmiah di kelas eksperimen lebih berkembang dibandingkan dengan kelas kontrol, khususnya dalam memahami asas kontinuitas. Hal ini terlihat dari kualitas penjelasan yang disampaikan, di mana lebih banyak siswa mampu menyertakan konsep ilmiah yang tepat serta penalaran matematis yang relevan. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan PBL yang dikombinasikan dengan simulasi PhET dapat memberikan dampak positif terhadap penguasaan siswa dalam menjelaskan fenomena ilmiah secara menyeluruh dan logis.

Model PBL mendorong siswa untuk aktif memecahkan persoalan yang dihadirkan secara nyata, sehingga mereka terbiasa untuk menggali informasi, menerapkan konsep fisika yang telah dipelajari, dan mengkomunikasikan hasil pemikirannya secara sistematis. Dengan bantuan simulasi PhET, siswa dapat mengamati visualisasi dari konsep yang abstrak, sehingga proses memahami hubungan antar variabel menjadi lebih mudah dan bermakna (Samsudin et al., 2020).

Kemampuan memberikan penjelasan ilmiah melibatkan sejumlah aspek penting seperti ketepatan konsep, urutan logis, dan dukungan berupa data atau representasi matematis. Siswa yang berhasil menjelaskan fenomena aliran fluida dengan menggunakan asas kontinuitas serta menunjukkan bukti perhitungan, memperlihatkan bahwa mereka tidak hanya memahami materi secara konseptual tetapi juga mampu menyampaikannya secara runtut dan berbasis bukti. Hasil ini diperkuat oleh studi Braaten & Windschitl (2011), yang menyatakan bahwa penjelasan ilmiah merupakan indikator penting dalam keterampilan berpikir tingkat tinggi, karena menuntut integrasi antara pemahaman konsep dan kemampuan representatif.

Pembelajaran yang hanya berfokus pada hafalan dan prosedur tidak cukup untuk membangun kemampuan siswa dalam menyelesaikan soal-soal berbasis aplikasi konsep seperti asas kontinuitas. Diperlukan pendekatan yang menekankan koneksi antara teori,

konsep, dan bukti matematis. Sedikitnya siswa yang bisa masuk ke kategori *fully supported* menunjukkan bahwa banyak siswa masih kesulitan menjelaskan jawaban mereka dengan perhitungan dan alasan ilmiah yang lengkap. Hal ini menunjukkan bahwa siswa perlu dilatih secara khusus untuk berpikir secara logis dan menggunakan hitungan saat menjawab soal sains. Seperti yang disampaikan oleh Gili et al. (2025), guru perlu mengajarkan cara berpikir ilmiah secara langsung, bukan hanya memberi rumus atau contoh soal. Dengan cara ini, siswa bisa lebih paham dan terbiasa membuktikan jawaban mereka dengan cara yang benar secara ilmiah. Berdasarkan hal tersebut, dapat disimpulkan bahwa PBL dengan dukungan simulasi digital seperti PhET berperan penting dalam mendukung peningkatan kualitas penjelasan ilmiah siswa, khususnya pada materi-materi yang bersifat abstrak dan memerlukan representasi visual serta matematis untuk dipahami secara utuh.

Tabel 4. Kategori Kemampuan Penjelasan Ilmiah pada Asas Bernoulli

Indikator soal Asas Bernoulli	Disajikan gambar pipa yang memiliki perbedaan ketinggian dan luas. Siswa mampu menjelaskan secara ilmiah yang terjadi pada tekanan pipa 2 jika diameter pipa 2 lebih besar daripada pipa 1		
Kategori	Jawaban siswa	Jumlah siswa	
		Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
<i>Invalid</i>	Tidak ada klaim yang tepat	5	10
<i>Unsupported</i>	Klaim benar tanpa disertai dukungan	14	13
<i>Partially Supported</i>	Klaim benar didukung oleh prinsip persamaan Bernoulli tanpa menghubungkan dengan konsep kontinuitas	8	6
<i>Fully Supported</i>	Klaim benar didukung oleh prinsip persamaan Bernoulli sekaligus menghubungkan dengan konsep kontinuitas. Dari bukti melalui persamaan kontinuitas ditemukan bahwa kecepatan berbanding terbalik dengan luas penampang. Jika diameter pipa 2 lebih besar dari pipa 1 maka kecepatan pada pipa 2 lebih kecil dari pipa 1 ($V_2 < V_1$). Dan dari persamaan Bernoulli kecepatan berbanding terbalik dengan luas penampang. Karena kecepatan pada pipa 2 lebih kecil dari pipa 1 ($V_2 < V_1$) maka tekanan pada pipa 2 lebih besar dari pipa 1 ($P_2 > P_1$).	2	0

Tinjauan terhadap respons siswa pada pertanyaan yang mengacu menunjukkan bahwa siswa yang belajar melalui PBL yang didukung oleh simulasi PhET memiliki kecenderungan untuk menyampaikan penjelasan ilmiah yang lebih terstruktur dan tepat. Meski jumlah siswa yang mencapai tingkat tertinggi (*fully supported*) masih sedikit, peningkatan kualitas penjelasan di kelas eksperimen mengindikasikan bahwa metode pembelajaran yang digunakan cukup efektif dalam membantu siswa memahami konsep secara menyeluruh.

Salah satu hambatan utama dalam memahami topik fluida dinamis terletak pada ketidakmampuan siswa untuk melihat hubungan antara hukum kontinuitas dan persamaan Bernoulli sebagai satu kesatuan konsep. Banyak dari mereka mempelajari kedua hukum tersebut secara terpisah, padahal dalam peristiwa nyata, keduanya saling terkait dan bekerja secara simultan. Pemahaman tentang bagaimana luas penampang memengaruhi kecepatan fluida (berdasarkan hukum kontinuitas), dan bagaimana kecepatan berkorelasi

dengan tekanan (berdasarkan hukum Bernoulli), sangat penting dalam membangun penjelasan ilmiah yang lengkap.

Siswa yang mampu menyatukan kedua prinsip ini dalam penjelasannya menunjukkan pemahaman konseptual yang lebih kuat. Penggunaan simulasi PhET memberikan visualisasi nyata tentang bagaimana aliran fluida berubah ketika salah satu variabel dimodifikasi. Hal ini membantu siswa untuk menghubungkan konsep abstrak dengan representasi visual dan matematis yang konkret. Temuan ini sejalan dengan hasil penelitian sebelumnya (Ramadani & Nana, 2020; Rianti et al., 2024) yang menyatakan bahwa media interaktif dan pendekatan berbasis masalah berkontribusi positif terhadap peningkatan keterampilan menjelaskan konsep secara ilmiah. Korengkeng et al. (2024) juga menekankan bahwa banyak siswa menghadapi kendala dalam memahami konsep fluida karena kurang mampu mengintegrasikan representasi dalam bentuk verbal, visual, dan matematis secara bersamaan. Oleh karena itu, penerapan model pembelajaran yang mengedepankan eksplorasi multi-representasi serta penalaran ilmiah sangat disarankan untuk memperkuat pemahaman siswa terhadap materi fisika, khususnya pada konsep fluida. Dengan demikian, integrasi pendekatan PBL dan dukungan simulasi berbasis komputer seperti PhET mampu meningkatkan kemampuan siswa dalam menyampaikan penjelasan ilmiah yang tidak hanya akurat secara konsep, tetapi juga logis dan didukung oleh representasi yang relevan. Pendekatan ini memberikan fondasi yang kuat bagi siswa untuk memahami fenomena fisika secara lebih terpadu dan bermakna.

Tabel 5. Kategori Kemampuan Penjelasan Ilmiah pada Penerapan Fluida Dinamis

Indikator soal Penerapan Fluida Dinamis	Disajikan permasalahan terkait Gaya angkat sayap pesawat. Siswa mampu menjelaskan secara ilmiah apa yang terjadi pada pesawat jika laju udara atas sayap pesawat lebih kecil daripada laju udara bawah pesawat		
Kategori	Jawaban siswa	Jumlah siswa	
		Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
<i>Invalid</i>	Tidak ada klaim yang tepat	2	9
<i>Unsupported</i>	Klaim benar tanpa dijabarkan mengapa pesawat akan turun	16	13
<i>Partially Supported</i>	Klaim benar didukung oleh prinsip Bernoulli yaitu kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan. kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan tanpa menjelaskan hubungan dengan fenomena pesawat terbang.	7	6
<i>Fully Supported</i>	Klaim benar didukung oleh prinsip Bernoulli yaitu kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan. kecepatan berbanding terbalik dengan tekanan sekaligus menjelaskan hubungan dengan fenomena pesawat terbang. Pesawat terbang dapat terangkat ke udara karena kecepatan udara pada sayap bagian atas lebih besar dibandingkan dengan kecepatan udara pada sayap bagian bawah. Begitu juga sebaliknya.	4	1

Analisis terhadap jawaban siswa pada soal penerapan fluida dinamis khususnya gaya angkat pesawat ditemukan bahwa siswa yang mengikuti pembelajaran melalui PBL berbantuan simulasi PhET cenderung mampu menyampaikan penjelasan ilmiah yang lebih terstruktur dan sesuai konteks, khususnya dalam menjelaskan fenomena gaya angkat pada

pesawat. Sebagai perbandingan dengan kelas kontrol, siswa pada kelas eksperimen menunjukkan kemampuan yang lebih baik dalam mengaitkan antara prinsip Bernoulli dengan situasi nyata yang melibatkan perbedaan kecepatan aliran udara pada bagian atas dan bawah sayap pesawat.

Peningkatan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis masalah yang dikombinasikan dengan visualisasi dari simulasi digital mampu memfasilitasi siswa untuk membangun pemahaman konseptual yang lebih bermakna. Hal ini selaras dengan pendapat Yuliati, Fauziah, et al. (2018), yang menyatakan bahwa pembelajaran berbasis masalah mendorong siswa untuk aktif mencari solusi dan mengembangkan keterampilan penjelasan melalui keterlibatan langsung dengan permasalahan kontekstual.

Visual yang disediakan oleh simulasi PhET memberikan gambaran konkret tentang bagaimana fluida bergerak dan bagaimana kecepatan memengaruhi tekanan, yang merupakan inti dari prinsip Bernoulli. Sebagaimana dijelaskan oleh Yuliati, Riantoni, et al. (2018), penggunaan media simulasi dalam pembelajaran mampu membantu siswa dalam mengintegrasikan konsep fisika yang abstrak ke dalam bentuk representasi visual yang mudah dipahami. Namun demikian, masih rendahnya jumlah siswa yang mampu memberikan penjelasan secara lengkap dan menyeluruh (*fully supported*) menunjukkan bahwa keterampilan dalam menyusun penjelasan ilmiah pada konsep dan fenomena masih perlu diperkuat. Darling-Hammond et al. (2020) juga menemukan bahwa meskipun siswa dapat mengidentifikasi prinsip fisika yang relevan, mereka sering kali belum mengaitkan secara eksplisit konsep tersebut dengan konteks aplikatif dalam kehidupan sehari-hari.

Hasil analisis dari ketiga topik fluida yaitu asas kontinuitas, asas Bernoulli, serta penerapannya dalam kehidupan sehari-hari seperti fenomena gaya angkat pada pesawat menunjukkan adanya perbedaan kemampuan penjelasan ilmiah antara siswa yang mendapatkan pembelajaran dengan PBL berbantuan simulasi PhET dan siswa yang belajar melalui metode konvensional. Peneliti mencatat bahwa siswa pada kelas eksperimen cenderung lebih mampu menyusun penjelasan ilmiah yang disertai argumentasi konseptual, meskipun tidak semuanya mencapai kategori *fully supported*. Siswa yang berada dalam kategori *fully supported* mampu memberikan klaim yang benar serta mendukungnya dengan bukti dan penalaran yang tepat (Harris & Krajcik, 2008). Kecenderungan ini menunjukkan bahwa model PBL yang dikombinasikan dengan media interaktif seperti simulasi PhET memberikan peluang bagi siswa untuk lebih memahami dan menjelaskan konsep fisika secara lebih menyeluruh. Melalui PBL, siswa dilatih untuk mengeksplorasi situasi nyata yang membutuhkan penerapan konsep fluida. Simulasi PhET mendukung proses ini dengan menyediakan representasi visual dari gejala fisik yang umumnya sulit dipahami hanya melalui paparan saja atau teks. Dalam hal ini, kemampuan siswa untuk menghubungkan konsep matematis dengan kondisi nyata mengalami peningkatan, sejalan dengan temuan Dwi et al. (2018) yang menyoroti pentingnya keterampilan dalam menghubungkan berbagai representasi ilmiah.

Peneliti juga menemukan bahwa siswa yang tidak mendapatkan pengalaman belajar kontekstual dan visual masih cenderung melihat hukum kontinuitas dan persamaan Bernoulli sebagai konsep yang terpisah. Hal ini berdampak pada rendahnya kemampuan mereka dalam menjelaskan aliran fluida sebagai suatu sistem yang terintegrasi. Sebaliknya, siswa pada kelas eksperimen mulai menunjukkan pemahaman yang lebih baik terhadap bagaimana perubahan luas penampang memengaruhi kecepatan fluida, dan bagaimana kecepatan tersebut kemudian berdampak pada tekanan, sebagaimana dijelaskan dalam prinsip Bernoulli. Pemahaman ini juga mulai mereka kaitkan dengan fenomena sehari-hari seperti cara kerja sayap pesawat. Dengan kata lain, dari perspektif peneliti, pembelajaran dengan pendekatan PBL berbantuan simulasi PhET memiliki potensi besar

untuk meningkatkan kualitas penjelasan ilmiah siswa. Selain menguatkan pemahaman konseptual, pendekatan ini juga menumbuhkan kemampuan siswa dalam menghubungkan konsep-konsep ilmiah dengan fenomena yang mereka alami atau amati dalam kehidupan nyata. Hal ini menegaskan bahwa pengalaman belajar yang berbasis masalah dan menggunakan simulasi dapat memperkuat keterampilan berpikir ilmiah secara komprehensif. Sehingga model PBL berbantuan simulasi PhET terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan siswa dalam memberikan klaim, mendukung dengan bukti yang relevan, dan menyajikan penalaran ilmiah secara logis. Simulasi PhET memberikan pengalaman belajar interaktif yang membantu siswa memvisualisasikan konsep-konsep fluida dinamis, seperti hukum kontinuitas dan hukum Bernoulli, secara lebih konkret (Fadhlandini et al., 2018).

Penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran memberikan siswa pengalaman eksperimen virtual yang menyerupai praktik langsung di laboratorium, namun dengan fleksibilitas yang lebih tinggi. Melalui fitur interaktif, siswa bebas mengatur variabel seperti kecepatan fluida, tekanan, serta luas penampang dan dapat langsung mengamati efek dari perubahan tersebut terhadap perilaku aliran fluida. Lingkungan belajar semacam ini memperkuat pemahaman konseptual karena siswa mengalami proses belajar yang bersifat eksploratif dan berbasis penyelidikan mandiri (Nicholus et al., 2023). Selain itu, penggunaan simulasi juga membantu mengembangkan kemampuan penjelasan ilmiah karena siswa terbiasa mengamati fenomena, merumuskan dugaan, dan menarik kesimpulan berdasarkan data visual yang tersedia (Khofifah et al., 2024; Samsudin et al., 2020).

Perbedaan kemampuan penjelasan ilmiah antara siswa di kelas eksperimen dan kelas kontrol juga dapat dijelaskan melalui sudut pandang teori konstruktivisme, di mana pengetahuan dibangun melalui interaksi aktif dengan lingkungan belajar. Dalam PBL, siswa diajak untuk memahami konsep melalui konteks nyata atau fenomena yang relevan, seperti perbedaan tekanan dan kecepatan dalam pipa atau mekanisme gaya angkat pada pesawat. Melalui proses penyelidikan ini, siswa mengembangkan pola berpikir ilmiah yang mencakup penyusunan klaim, pencarian bukti, dan penggunaan penalaran untuk menjelaskan suatu fenomena (Moore & Wright, 2023).

Peneliti juga menemukan bahwa siswa dalam kategori *invalid* umumnya mengalami kesulitan dalam membentuk klaim yang sesuai dengan konteks masalah, sedangkan siswa dalam kategori *unsupported* sudah mampu membuat klaim, namun tidak didukung oleh bukti atau penalaran ilmiah yang memadai. Sebaliknya, siswa dalam kategori *partially supported* mulai menunjukkan kemampuan dalam mengaitkan klaim dengan data, meskipun masih terbatas dalam kelengkapan atau kedalaman penjelasan.

Temuan ini memperkuat hasil studi Harris & Krajcik (2008), yang menyatakan bahwa keberhasilan siswa dalam menjelaskan fenomena ilmiah secara efektif sangat dipengaruhi oleh kemampuan mereka menggunakan konsep yang benar dan sesuai konteks. Sementara itu, Berland & McNeill (2010) juga menekankan bahwa kelemahan dalam pemahaman konseptual dapat menyebabkan interpretasi data yang keliru, yang pada akhirnya menghambat kemampuan siswa dalam merumuskan penjelasan yang logis dan berbasis bukti. Kelas kontrol, yang tidak mendapatkan intervensi model PBL dan simulasi PhET, menunjukkan kecenderungan melakukan kesalahan konseptual, seperti menyamakan tekanan dengan kecepatan atau menyimpulkan hubungan sebab-akibat tanpa dukungan prinsip fisika yang tepat. Kesalahan ini tidak hanya bersumber dari miskonsepsi, tetapi juga dari kurangnya keterlibatan aktif siswa dalam proses pembelajaran. Hal ini didukung oleh temuan dari Negoro et al. (2018) yang menunjukkan bahwa siswa yang tidak aktif mengeksplorasi fenomena cenderung mengandalkan hafalan dan kurang mampu

membangun penjelasan ilmiah secara mandiri. Untuk mengatasi tantangan ini, strategi pembelajaran yang mengutamakan *scientific explanation modeling*, diskusi kelompok, dan penggunaan alat penilaian berbasis rubrik penjelasan ilmiah terbukti efektif (Osborne & Patterson, 2011). Kegiatan diskusi antarsiswa, misalnya, memungkinkan pertukaran ide dan klarifikasi konsep, sehingga memperkuat pemahaman dan meningkatkan kualitas penjelasan yang dihasilkan. Di sisi lain, pembiasaan siswa menggunakan kerangka *Claim-Evidence-Reasoning* (CER) juga terbukti mampu meningkatkan struktur penjelasan ilmiah mereka (McNeill et al., 2006). Dengan demikian, pembelajaran berbasis masalah yang terintegrasi dengan bantuan simulasi interaktif seperti PhET memiliki peran penting dalam membentuk kemampuan penjelasan ilmiah siswa. Pembelajaran ini tidak hanya memberikan pengalaman belajar yang lebih konkret dan bermakna, tetapi juga mendorong siswa untuk membangun pemahaman konseptual yang kuat serta keterampilan penalaran yang mendalam, sesuai dengan tuntutan pembelajaran sains abad ke-21.

SIMPULAN DAN SARAN

Kemampuan penjelasan ilmiah siswa mengalami peningkatan yang signifikan melalui penerapan *Problem-Based Learning* (PBL) yang diperkaya dengan simulasi PhET. Hal ini tercermin dari peningkatan kualitas jawaban siswa, baik dalam ketepatan klaim maupun dalam penggunaan bukti dan alasan yang mendukung penjelasan mereka. Kelas eksperimen menunjukkan proporsi lebih tinggi pada kategori *partially supported* dan *fully supported* dibandingkan kelas kontrol dalam semua topik yang diuji, yaitu Asas Kontinuitas, Asas Bernoulli, dan penerapan fluida dinamis pada pesawat terbang.

Penggunaan simulasi PhET membantu siswa menguji konsep secara langsung dalam lingkungan virtual, memungkinkan mereka melihat hubungan sebab-akibat dari perubahan variabel fisika seperti tekanan, kecepatan, dan luas penampang. Visualisasi semacam ini memperkuat pemahaman konsep dan mendorong siswa untuk menyusun penjelasan ilmiah yang lebih logis dan berbasis data. Temuan ini mendukung pandangan bahwa pengalaman belajar yang bersifat kontekstual dan interaktif mampu memperkaya pemahaman ilmiah siswa secara menyeluruh.

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar pendidik mengimplementasikan model *Problem-Based Learning* dengan dukungan simulasi PhET untuk membantu siswa memahami konsep fluida dan meningkatkan kemampuan penjelasan ilmiah mereka. Sekolah perlu mendukung penerapan ini melalui penyediaan fasilitas dan pelatihan teknologi yang memadai. Penelitian lanjutan bisa dilakukan pada materi dan jenjang berbeda untuk melihat efektivitas pendekatan ini lebih luas. Siswa juga diharapkan aktif dalam menggunakan simulasi dan berdiskusi agar penjelasannya lebih logis dan berbasis bukti.

DAFTAR PUSTAKA

- Aggraini, M. D., Koto, I., & Gunawan, B. (2024). The Effect of Problem-Based Learning Integrated Numbered Head Together on the Critical Thinking Ability of Grade XI Students. *Physics Education Journal*, 7(2), 457–469. <http://jurnal.unipa.ac.id/index.php/kpej>
- Almadrones, R. D. G., & Tadifa, F. G. (2024). Physics Educational Technology (PHET) Simulations in Teaching General Physics 1. *International Journal of Instruction*, 17(3), 635–650. <https://doi.org/10.29333/iji.2024.17335a>
- Banda, H. J., & Nzabahimana, J. (2023). The Impact of Physics Education Technology (PhET) Interactive Simulation-Based Learning on Motivation and Academic Achievement Among Malawian Physics Students. *Journal of Science Education*

- and Technology (JSET), 32, 127–141.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s10956-022-10010-3>
- Berland, L. K., & McNeill, K. L. (2010). A learning progression for scientific argumentation: Understanding student work and designing supportive instructional contexts. *Science Education*, 94(5), 765–793.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.20402>
- Braaten, M., & Windschitl, M. (2011). Working Toward a Stronger Conceptualization of Scientific Explanation for Science Education. *Science Education*, 95(6), 944–976.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.20449>
- Brian, F & Ytreberg, M. F. (2011). Understanding Bernoulli's Principle through Simulations. *American Journal of Physics*, 79(2), 214–216.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1119/1.3533216>
- Creswell, J. W. (2014). *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches* (4th Edition). Sage Publications.
- Crisna, D. P. R., Suastra, I. W., & Suswandi, I. (2017). Penerapan Model Pembelajaran Problem Based Learning untuk Meningkatkan Kemampuan Berpikir Kritis dan Hasil Belajar Fisika Siswa Kelas X MIPA SMA Negeri Tahun Pelajaran 2018/2019. *Jurnal Pendidikan Fisika Undiksha*, 7(2), 21–29.
<https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jjpf.v7i2.18722>
- Darling-Hammond, L., Flook, L., Cook-Harvey, C., Barron, B., & Osher, D. (2020). Implications for educational practice of the science of learning and development. *Applied Developmental Science*, 24(2), 97–140.
<https://doi.org/10.1080/10888691.2018.1537791>
- Dwi, L. I., Yulianti, L., & Suwono, H. (2018). Kemampuan Representasi Siswa SMP dalam The 5E Learning Cycle dengan Reflective Self Assessment pada Materi Kalor. *Jurnal Pendidikan*, 3(2), 165–173. <https://doi.org/10.17977/jptpp.v3i2.10492>
- Fadhlandini, V. I., Suherman, A., & Darman, D. R. (2018). Penerapan Model PBL Berbantuan PhET Simulation untuk Meningkatkan Kemampuan Generik Sains Siswa pada Materi Fluida Dinamis. *Prosiding Seminar Nasional Pendidikan Fisika*, 1(1), 101–107. <https://jurnal.untirta.ac.id/index.php/sendikfi/index>
- Frihanderi, A. D., Supriadi, B., & Prihandono, T. (2018). Identifikasi Pemahaman Konsep Fluida Dinamis Menggunakan Four Tier Test pada Siswa SMA 1. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 7(3), 315–321.
<https://doi.org/https://doi.org/10.30743/pascal.v8i2.8396>
- Gili, K., Heuton, K., Shah, A., & Hughes, M. C. (2025). Using Machine Learning to Measure Evidence of Students' Sensemaking in Physics Courses. *ArXiv*, 1–14.
<https://doi.org/https://doi.org/10.48550/arXiv.2503.15638>
- Hake, R. R. (1999). Analyzing Change/Gain Scores. *American Educational Research Association's Division D: Measurement and Research Methodology*, 1(4), 48–56.
- Harris, C. J., & Krajcik, J. S. (2008). Scientific Explanations: Characterizing and Evaluating The Effects of Teachers' Instructional Practices on Student Learning. *Journal of Research in Science Teaching: The Official Journal of the National Association for Research in Science Teaching*, 45(1), 53–78.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.20201>
- Irmawati, M., Yusuf, I., & Widyaningsih, S. W. (2022). Pengaruh Model Pembelajaran Problem Based Learning (PBL) terhadap Minat Belajar Peserta didik pada Pembelajaran Tematik di Sekolah Dasar: Indonesia. *Elementary: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 8(2), 110-118. <https://doi.org/10.32332/elementary.v8i2.5201>

- Jian-Xin Yao, & Yu-Ying Guo. (2018). Validity Evidence for a Learning Progression of Scientific Explanation. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(2), 299–317. <https://doi.org/https://doi.org/10.1002/tea.21420>
- Karmila, N., Wilujeng, I., & Sulaiman, H. (2021). The Effectiveness of Problem Based Learning (PBL) Assisted Google Classroom to Scientific Literacy in Physics Learning. *Atlantis Press*, 541, 447–452. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.210326.064>
- Khofifah, K., Yuliani, H., & Santiani, S. (2024). Meta-Analysis: The Effect of PhET Simulation Media on Enhancing Conceptual Understanding in Physics Learning. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 7(3), 532. <https://doi.org/10.20527/jipf.v7i3.9046>
- Korengkeng, C. B., Marianus, & Mongan, S. W. (2024). Effectiveness of Using Multirepresentation Model in Dynamic Fluid Learning on Student Learning Result In Class XI SMA Negeri 1 Langowan. *SOSCIED*, 7(1), 187–201. <https://doi.org/https://doi.org/10.32531/jsoscied.v7i1.787>
- Madu, B. C. (2020). Scientific Explanation of Phenomenon, Imagination and Concept Formation as Correlates of Students' Understanding of Physics Concepts. *Journal of Natural Sciences Research*, 11(16), 17–28. <https://doi.org/10.7176/jnsr/11-16-03>
- McNeill, K. L., Lizotte, D. J., Krajcik, J., & Marx, R. W. (2006). Supporting Students' Construction of Scientific Explanations by Fading Scaffolds in Instructional Materials. *Journal of the Learning Sciences*, 15(2), 153–191. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1502_1
- Moore, B. A., & Wright, J. (2023). Constructing Written Scientific Explanations: A Conceptual Analysis Supporting Diverse and Exceptional Middle- and High-School Students in Developing Science Disciplinary Literacy. *Frontiers in Education*, 8, 1–13. <https://doi.org/10.3389/educ.2023.1305464>
- Negoro, R. A., Hidayah, H., Subali, B., & Rusilowati, A. (2018). Upaya Membangun Ketrampilan Berpikir Kritis Menggunakan Peta Konsep Untuk Mereduksi Miskonsepsi Fisika. *Jurnal Pendidikan (Teori Dan Praktik)*, 3(1), 45. <https://doi.org/10.26740/jp.v3n1.p45-51>
- Nicholus, G., Muwoge, C. M., & Joseph, N. (2023). The Role of Problem-Based Learning Approach in Teaching and Learning Physics: A Systematic Literature Review. *F1000Research*, 12(951). <https://doi.org/10.12688/f1000research.136339.2>
- Osborne, J. F., & Patterson, A. (2011). Scientific Argument and Explanation: A Necessary Distinction? *Science Education*, 95(4), 627–638. <https://doi.org/10.1002/sce.20438>
- Ramadani, E. M., & Nana, D. (2020). Penerapan Problem Based Learning Berbantuan Virtual Lab Phet pada Pembelajaran Fisika Guna Meningkatkan Pemahaman Konsep Siswa SMA: Literature Review. *Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako Online (JPFT)*, 8(1), 87–92.
- Rianti, R., Gunawan, G., Verawati, N. N. S. P., & Taufik, M. (2024). The Effect of Problem Based Learning Model Assisted by PhET Simulation on Understanding Physics Concepts. *Lensa: Jurnal Kependidikan Fisika*, 12(1), 28. <https://doi.org/10.33394/j-lkf.v12i1.8783>
- Samsudin, A., Putra, G. D., Saepuzaman, D., Aminudin, A. H., & Rais, A. (2020). A Development of PhET based Mechanical Fluid Worksheet to identify changes in student conceptions. *Test Engineering and Management*, 83, 15441–15451. <https://www.researchgate.net/publication/341882203>

- Suliyati, S., Mujasam, M., Yusuf, I., & Widyaningsih, S. W. (2018). Penerapan Model PBL Menggunakan Alat Peraga Sederhana Terhadap Hasil Belajar Peserta Didik. *Curricula*, 3 (1), 11–22. <http://dx.doi.org/10.22216/jcc.2018.v3i1.2100>
- Suyidno, S., Hadiani, R., Miriam, S., & Siswanto, J. (2024). Dynamic Fluid Module: Problem-Based Learning Combined with STEM to Increase Students' Scientific Creativity. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(9), 6941–6946. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i9.7640>
- Uluçinar, U. (2023). The Effect of Problem-Based Learning in Science Education on Academic Achievement: A Meta-Analytical Study. *Science Education International*, 34(2), 72–85. <https://doi.org/10.33828/sei.v34.i2.1>
- Wenno, I. H., Jamaludin, J., & Batlolona*, J. R. (2021). The Effect of Problem Based Learning Model on Creative and Critical Thinking Skills in Static Fluid Topics. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 9(3), 498–511. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v9i3.20829>
- Widyaningsih, S. W., Kuswandi, D., Aulia, F., Yusro, A. C., & Yusuf, I. (2024). Problem-Based Learning to Metacognition in Physics Learning in Indonesia: Literature Review. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 8(1), 123-135. <https://doi.org/10.20527/jipf.v8i1.11141>
- Yuliati, L., Fauziah, R., & Hidayat, A. (2018). Student's Critical Thinking Skills in Authentic Problem Based Learning. *Journal of Physics: Conference Series*, 1013(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1013/1/012025>
- Yuliati, L., Riantoni, C., & Mufti, N. (2018). Problem Solving Skills on Direct Current Electricity through Inquiry-Based Learning with PhET Simulations. *International Journal of Instruction*, 11(4), 123–138. <https://doi.org/10.12973/iji.2018.1149a>
- Yusuf, I., Setyosari, P., Kuswandi, D., & Ulfa, S. (2024). The Frontier Areas' Student Acceptance of Physics Fun-based Mobile Application: Incorporating the Process-Oriented Guided-Inquiry Learning (POGIL) Strategy. *Participatory Educational Research*, 11(6), 152-171. <https://doi.org/10.17275/per.24.84.11.6>