

PENGEMBANGAN E-MODUL BERBASIS VIRTUAL LAB DAN DEEP LEARNING UNTUK PEMAHAMAN KONSEPTUAL HUKUM PASCAL

**Okran Sabil Sormin¹⁾, Ainun Mardiyah Lubis^{2*)}, Syahrudin Aritonang³⁾, Elisa Ariani
Hasibuan⁴⁾, Imel Nadya Sari Napitupulu⁵⁾, Rosa Amelia Siagian⁶⁾, Lulu Ikrima
Rambe⁷⁾, Muhammad Saukani⁸⁾**

¹⁾²⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾ Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas
Muhammadiyah Tapanuli Selatan, Padangsidempuan, Sumatera Utara, Indonesia
*e-mail: ainun.mardiyah@um-tapsel.ac.id

(Received 23 April 2026, Accepted 16 Juli 2026)

Abstract

This research produced and evaluated an electronic module that combines virtual laboratory activities with a pedagogical deep learning orientation for learning Pascal's Law. The development process followed the 4-D framework: define, design, develop, and disseminate. A limited trial was conducted with 33 students of class XI-1 at SMA Negeri 4 Padangsidempuan. Evidence of product quality was obtained from material, media, and language expert reviews; teacher and student practicality questionnaires; a student effectiveness questionnaire; and a conceptual-understanding test. Canva was used to construct the module, PhET simulations were embedded as the virtual experimentation component, and Heyzine was used to present the final product as a flipbook. Data were summarized through percentage calculations and interpreted according to predetermined categories. The material, media, and language validation results were 92.5%, 97.5%, and 90.0%, respectively, giving an overall validity score of 93.3%. Practicality reached 90.0% according to the teacher and 82.7% according to the students. The effectiveness response was 79.4%, while the conceptual-understanding score was 80.2%. These results demonstrate that the e-module is highly valid and practical, effective in classroom use, and capable of facilitating students' understanding of Pascal's Law through guided virtual investigation.

Keywords: Electronic module, virtual laboratory, pedagogical deep learning, conceptual understanding, Pascal's Law

Abstrak

Penelitian ini menghasilkan sekaligus menilai e-modul yang mengintegrasikan aktivitas virtual lab dengan orientasi deep learning secara pedagogis pada materi Hukum Pascal. Proses pengembangannya mengikuti model 4-D, yakni define, design, develop, dan disseminate. Uji coba terbatas dilakukan terhadap 33 siswa kelas XI-1 SMA Negeri 4 Padangsidempuan. Mutu produk dikaji melalui validasi ahli materi, media, dan bahasa; angket praktikalitas guru dan siswa; angket efektivitas; serta tes pemahaman konseptual. E-modul dirancang menggunakan Canva, dilengkapi eksperimen virtual melalui PhET, kemudian dipublikasikan dalam format flipbook dengan Heyzine. Data diolah melalui perhitungan persentase dan ditafsirkan berdasarkan kategori yang telah ditetapkan. Validasi materi memperoleh 92,5%, validasi media 97,5%, dan validasi bahasa 90,0%, dengan rata-rata 93,3%. Penilaian praktikalitas mencapai 90,0% dari guru dan 82,7% dari siswa. Respons efektivitas berada pada 79,4%, sedangkan capaian pemahaman konseptual sebesar 80,2%. Hasil tersebut memperlihatkan bahwa produk sangat valid dan praktis, efektif digunakan, serta dapat memfasilitasi pemahaman Hukum Pascal melalui kegiatan penyelidikan virtual yang terarah.

Kata Kunci: e-modul, laboratorium virtual, deep learning pedagogis, pemahaman konseptual, Hukum Pascal

PENDAHULUAN

Pemahaman konsep menjadi landasan penting ketika siswa mempelajari fisika. Keberhasilan belajar tidak hanya terlihat dari ketepatan menggunakan persamaan, tetapi juga dari kemampuan menerangkan penyebab suatu gejala, membaca keterkaitan antarbesaran, menginterpretasikan bukti, dan menerapkan prinsip yang sama pada persoalan berbeda.

Karakter materi fisika yang banyak memuat representasi abstrak membuat proses tersebut membutuhkan pengalaman visual dan kegiatan eksperimen. Karena itu, pembelajaran yang memberi siswa kesempatan mengamati, mempertanyakan, dan menalar lebih diperlukan daripada penyampaian rumus secara satu arah.

Kebutuhan tersebut tampak pada kondisi pembelajaran fisika di SMA Negeri 4 Padangsidempuan. Diskusi, latihan soal, dan demonstrasi telah digunakan oleh guru, tetapi hasil analisis awal masih memperlihatkan kesulitan siswa dalam mengungkapkan konsep menggunakan bahasanya sendiri, menghubungkannya dengan kejadian sehari-hari, serta menyusun kesimpulan berdasarkan hasil pengamatan. Nilai awal kelas XI juga menunjukkan bahwa penguasaan konsep perlu ditingkatkan. Pada saat yang sama, keterbatasan perangkat laboratorium dan alokasi waktu menyebabkan pengalaman praktikum belum diterima secara merata oleh seluruh siswa.

Persoalan tersebut cukup menonjol pada pembahasan Hukum Pascal. Materi ini menuntut siswa memahami bagaimana tekanan diteruskan dalam fluida tertutup serta bagaimana perubahan gaya berkaitan dengan luas penampang. Penerapannya dekat dengan kehidupan, antara lain pada dongkrak, sistem rem, kursi hidrolik, dan alat suntik. Akan tetapi, apabila kegiatan belajar hanya berisi penjelasan matematis, siswa mudah berhenti pada prosedur substitusi angka tanpa memahami alasan fisik di balik kerja sistem hidrolik. Diperlukan bahan ajar yang mempertemukan penjelasan konsep, pengamatan, eksplorasi variabel, latihan, dan refleksi dalam satu rangkaian.

Salah satu bentuk bahan ajar yang memungkinkan pengorganisasian tersebut adalah e-modul. Materi dapat disajikan secara bertahap dan diakses kembali sesuai kecepatan belajar siswa, sementara teks, gambar, pertanyaan, evaluasi, serta pranala menuju sumber interaktif dapat ditempatkan dalam satu media. Lastri, (2023) memandang e-modul sebagai bahan ajar yang membantu penyajian materi secara sistematis. Sementara itu, Zainuddin, Rojali and Susanti, (2025) menyoroti kemampuan media digital interaktif dalam menghadirkan unsur visual, animasi, dan video. Bagi pembelajaran fisika, karakter ini memberi peluang untuk menghubungkan bacaan konseptual dengan kegiatan eksperimen yang dapat dijalankan secara digital.

Laboratorium virtual dapat mengisi bagian eksperimen tersebut ketika praktikum nyata belum memungkinkan. Melalui PhET Simulation, siswa dapat mengubah variabel, mengamati respons sistem, dan mengulang percobaan tanpa bergantung pada ketersediaan alat. Sujanem, Suwindra and Suswandi, (2022) menemukan bahwa penggunaan simulasi PhET di dalam e-modul mendukung aktivitas berpikir kritis siswa. Hasil meta-analisis Jamalsari, (2020) juga memperlihatkan kontribusi laboratorium virtual terhadap pemahaman konsep fisika. Dengan demikian, simulasi tidak sekadar menjadi ilustrasi, melainkan sumber pengalaman empiris yang dapat digunakan untuk menalar tekanan dan mekanisme hidrolik.

Istilah deep learning pada penelitian ini merujuk pada orientasi pembelajaran yang mendorong pemaknaan mendalam, bukan pada algoritma kecerdasan buatan. Siswa diarahkan untuk mengaitkan pengetahuan awal dengan pengalaman baru, menilai hasil pengamatan, menjelaskan alasan, dan memindahkan pemahaman ke situasi lain. Haq and Prasetyo, (2025) menggambarkan pendekatan ini sebagai pembelajaran yang menekankan kedalaman pemahaman, sedangkan Nadawina et al., (2025) menempatkan transfer pengetahuan sebagai salah satu unsur pentingnya. Integrasi orientasi tersebut dengan virtual lab diharapkan membuat siswa tidak hanya mengetahui persamaan Hukum Pascal, tetapi memahami hubungan konseptual yang membentuk persamaan tersebut.

Berangkat dari kebutuhan pembelajaran dan peluang pemanfaatan media tersebut, penelitian ini mengembangkan e-modul terintegrasi virtual lab yang berorientasi pada deep learning pedagogis untuk materi Hukum Pascal. Kualitas produk ditinjau dari validitas, praktikalitas, efektivitas penggunaan, dan capaian pemahaman konseptual siswa.

METODE

Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan kerangka pengembangan 4-D. Empat tahap yang ditempuh meliputi *define*, *design*, *develop*, dan *disseminate*. Kerangka ini dipilih karena penelitian tidak berhenti pada penyusunan bahan ajar, tetapi juga mencakup penilaian kelayakan, perbaikan produk berdasarkan masukan, uji penggunaan, dan penyebaran secara terbatas.

Pada tahap *define*, kebutuhan produk dipetakan melalui kajian kurikulum, pemetaan materi, dan analisis karakteristik siswa. Kajian kurikulum digunakan untuk memastikan kesesuaian isi dengan capaian pembelajaran fisika kelas XI. Pemetaan materi menetapkan tekanan, prinsip Pascal, hubungan gaya dengan luas penampang, serta penerapan sistem hidrolik sebagai konsep utama. Analisis siswa diarahkan pada kesulitan memahami materi, kebutuhan terhadap pengalaman eksperimen, dan kesiapan menggunakan bahan ajar digital.

Tahap *design* menghasilkan rancangan alur belajar, tampilan halaman, aktivitas simulasi, dan perangkat penilaian. Canva dimanfaatkan untuk menata isi dan visual e-modul, PhET Simulation menjadi sarana eksperimen virtual, sedangkan Heyzine digunakan untuk mengubah produk menjadi flipbook. Urutan kegiatan dibuat dari eksplorasi fenomena menuju pembentukan konsep: siswa menjalankan simulasi, mencatat perubahan yang diamati, menjawab pertanyaan penuntun, lalu melakukan refleksi atas hubungan antarvariabel.

Tahap *develop* mencakup pemeriksaan produk oleh tiga validator, revisi, uji praktikalitas, pengukuran efektivitas, serta tes pemahaman konseptual. Validator mewakili bidang materi, media, dan bahasa. Uji coba dilakukan di kelas XI-1 SMA Negeri 4 Padangsidimpuan dengan 33 siswa, terdiri atas 19 siswa perempuan dan 14 siswa laki-laki, serta melibatkan guru fisika sebagai pengguna. Sesudah perbaikan dan uji coba, tahap *disseminate* dilaksanakan dalam lingkup terbatas dengan menyerahkan akses e-modul kepada guru dan siswa untuk digunakan sebagai bahan pendamping.

Data penelitian bersumber dari lembar validasi ahli, angket praktikalitas guru, angket praktikalitas siswa, angket efektivitas, dan tes pemahaman konseptual. Tes terdiri atas lima soal esai yang menilai kemampuan menjelaskan, mengelompokkan, memberi contoh maupun noncontoh, mengaitkan dan menerapkan konsep, menafsirkan data, serta menarik kesimpulan. Setiap hasil penilaian dianalisis secara deskriptif kuantitatif menggunakan $P = (Q/R) \times 100\%$, dengan P sebagai nilai persentase, Q sebagai skor yang diperoleh, dan R sebagai skor maksimum. Persentase yang dihasilkan kemudian dicocokkan dengan kriteria validitas, praktikalitas, efektivitas, dan pemahaman konseptual.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengembangan Produk

Produk akhir berupa e-modul Hukum Pascal yang mengarahkan siswa belajar melalui kombinasi bacaan, pengamatan virtual, latihan, dan refleksi. Di dalamnya terdapat petunjuk penggunaan, tujuan pembelajaran, pengantar fenomena, aktivitas PhET, penjelasan konsep, contoh penerapan sistem hidrolik, soal latihan, tes pemahaman konseptual, dan bagian refleksi. Susunan tersebut sengaja menempatkan eksplorasi sebelum pemberian rumus agar konsep gaya, tekanan, dan luas penampang dibangun dari hasil pengamatan siswa sendiri.

Rancangan awal menggunakan tampilan dua dimensi dengan navigasi sederhana. Masukan validator kemudian digunakan untuk memperbaiki konsistensi tata letak, ukuran dan keterbacaan tulisan, ketegasan instruksi eksperimen, serta akurasi uraian fisika. Perbaikan tersebut membuat alur halaman lebih mudah diikuti dan hubungan antara simulasi, pertanyaan, dan penjelasan konsep menjadi lebih jelas.

Validitas E-Modul

Penilaian kelayakan isi, tampilan, dan bahasa dilakukan oleh masing-masing ahli. Ringkasan hasilnya ditampilkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi hasil validasi e-modul

No.	Validator	Aspek Validasi	Persentase	Kategori
1	Ahli materi	Kesesuaian dan ketepatan isi materi	92,5%	Sangat valid
2	Ahli media	Tampilan, navigasi, dan integrasi media	97,5%	Sangat valid
3	Ahli bahasa	Kejelasan bahasa dan keterbacaan	90,0%	Sangat valid
Rata-rata			93,3%	Sangat valid

Skor pada Tabel 1 memperlihatkan bahwa penilaian ahli materi mencapai 92,5%, ahli media 97,5%, dan ahli bahasa 90,0%. Rata-rata ketiganya sebesar 93,3% dan masuk dalam kategori sangat valid. Capaian ini menunjukkan bahwa konsep yang disajikan dinilai tepat dan selaras dengan kebutuhan pembelajaran, pengoperasian serta tampilan medianya memadai, dan bahasa yang digunakan dapat dipahami oleh siswa tingkat SMA.

Nilai validitas tersebut juga mengisyaratkan bahwa aktivitas PhET telah ditempatkan sebagai bagian dari proses pembentukan konsep, bukan hanya hiasan multimedia. Setiap eksperimen diikuti pertanyaan yang meminta siswa membaca perubahan variabel, mencari hubungan, dan menyusun penjelasan. Susunan semacam ini relevan dengan temuan Sujanem, Suwindra and Suswandi, (2022), yang memperlihatkan bahwa e-modul berbantuan PhET dapat mendukung proses berpikir siswa dalam pembelajaran fisika.

Praktikalitas dan Efektivitas E-Modul

Setelah digunakan dalam pembelajaran, kemudahan penggunaan, respons efektivitas, dan capaian konsep diukur melalui angket serta tes. Rekapitulasi hasil disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi praktikalitas, efektivitas, dan pemahaman konseptual

No.	Aspek	Responden	Persentase	Kategori
1	Praktikalitas	Guru fisika	90,0%	Sangat praktis
2	Praktikalitas	Siswa	82,7%	Sangat praktis
3	Efektivitas	Siswa	79,4%	Efektif
4	Pemahaman konseptual	Siswa	80,2%	Baik

Guru memberikan nilai praktikalitas 90,0%, sedangkan penilaian siswa mencapai 82,7%; keduanya berada pada kategori sangat praktis. Hasil ini menandakan bahwa e-modul relatif mudah dioperasikan, urutan kegiatannya dapat diterapkan di kelas, dan isi halaman dapat diikuti oleh pengguna. Penilaian siswa penting karena keberhasilan bahan ajar digital ditentukan pula oleh kejelasan navigasi, keterbacaan instruksi, dan kecocokan aktivitas dengan kebiasaan belajar mereka.

Angket efektivitas memperoleh 79,4% dan termasuk kategori efektif. Respons tersebut terutama mencerminkan kemudahan siswa mengikuti materi, ketertarikan melakukan eksperimen virtual, serta terbantunya proses menghubungkan Hukum Pascal dengan aplikasi sehari-hari. Nilainya belum mencapai kategori tertinggi, sehingga masih terdapat ruang perbaikan. Durasi penerapan yang lebih panjang, penambahan variasi aktivitas, dan uji coba

pada beberapa kelas dapat digunakan untuk melihat sekaligus meningkatkan konsistensi manfaat produk.

Capaian tes pemahaman konseptual sebesar 80,2% berada pada kategori baik. Jawaban siswa menunjukkan bahwa pemahaman tidak terbatas pada penggunaan persamaan, tetapi juga tampak ketika mereka menjelaskan mekanisme dongkrak hidrolik, menentukan contoh dan noncontoh penerapan prinsip Pascal, serta membaca informasi dari simulasi untuk menyusun kesimpulan. Artinya, pengalaman virtual membantu siswa melihat hubungan gaya, tekanan, dan luas penampang sebagai satu sistem konseptual.

Hasil tersebut mendukung pandangan bahwa konsep lebih mudah dikuasai ketika siswa berhadapan dengan representasi dan aktivitas yang menuntut penalaran. Radiusman, (2020) menjelaskan bahwa pemahaman konsep tercermin melalui kemampuan menerangkan, memberikan contoh, menghubungkan, dan menggunakan suatu gagasan. Dalam e-modul ini, siswa tidak hanya membaca informasi, tetapi memanipulasi variabel, mengamati akibatnya, dan menafsirkan hubungan yang muncul. Karena itu, fungsi produk berkembang dari sekadar sumber bacaan menjadi penuntun aktivitas berpikir.

Orientasi *deep learning* terlihat pada rangkaian mengalami, menalar, mengaitkan, dan merefleksikan. Sebagai contoh, siswa tidak langsung diminta menghafal $F_1/A_1 = F_2/A_2$, melainkan terlebih dahulu mengamati bagaimana perubahan luas piston memengaruhi besar gaya keluaran. Setelah itu, mereka diminta menjelaskan sebab hubungan tersebut dan mengaitkannya dengan perangkat hidrolik. Urutan ini memberi kesempatan kepada siswa untuk membangun makna dari pengalaman virtual sebelum mengekspresikannya dalam bentuk matematis.

Kecenderungan hasil penelitian sejalan dengan sejumlah pengembangan bahan ajar fisika sebelumnya. Rambe and Aritonang, (2024) melaporkan efektivitas modul inkuiri yang dibantu concept map, sedangkan Ula, Aulia and Mahdiannur, (2025) menunjukkan manfaat penggunaan PhET dalam pembelajaran fisika. Kekhasan produk pada penelitian ini terletak pada penyatuan e-modul, eksperimen virtual, dan aktivitas berorientasi *deep learning* secara pedagogis untuk membangun pemahaman konseptual Hukum Pascal.

Implikasi Produk

Produk dapat ditempatkan sebagai pendamping pembelajaran di kelas maupun sebagai bahan belajar mandiri. Bagi guru, *virtual lab* menyediakan alternatif ketika perangkat praktikum fisik terbatas. Bagi siswa, format digital memungkinkan materi, simulasi, dan latihan diakses kembali sebelum atau sesudah pertemuan. Keragaman bentuk informasi—teks, visual, eksperimen virtual, dan pertanyaan reflektif—juga memberi peluang penerapan pembelajaran yang lebih menyesuaikan kebutuhan belajar siswa.

Interpretasi hasil perlu mempertimbangkan dua keterbatasan. Uji coba baru melibatkan satu kelas, sehingga keterterapan produk pada karakteristik siswa yang berbeda belum dapat digeneralisasikan. Selain itu, efektivitas dianalisis secara deskriptif tanpa kelompok pembandingan. Penelitian lanjutan dapat menggunakan desain eksperimen, membandingkan hasil pretest dan posttest melalui N-Gain, melibatkan sampel yang lebih luas, serta mengembangkan aktivitas serupa untuk materi fluida statis lainnya.

KESIMPULAN

E-modul terintegrasi virtual lab yang berorientasi *deep learning* pedagogis pada materi Hukum Pascal memenuhi kriteria kelayakan untuk digunakan dalam pembelajaran fisika. Rata-rata validitas produk mencapai 93,3% dan termasuk sangat valid. Praktikalitas dinilai sangat praktis dengan skor 90,0% dari guru serta 82,7% dari siswa. Penggunaan produk memperoleh nilai efektivitas 79,4%, sementara pemahaman konseptual siswa mencapai 80,2% dalam

kategori baik. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penyatuan bahan ajar digital, eksperimen PhET, pertanyaan penuntun, dan kegiatan refleksi dapat membantu siswa membangun pemahaman yang lebih utuh mengenai tekanan dan sistem hidrolis. E-modul ini dapat digunakan sebagai bahan pendamping, terutama pada situasi ketika praktikum langsung belum dapat dilakukan secara optimal. Pengujian pada kelompok yang lebih luas tetap diperlukan untuk menilai konsistensi dampaknya.

DAFTAR PUSTAKA

- Haq, M.D. and Prasetyo, N.T. (2025) ‘Deep learning sebagai Pendekatan Transformasional dalam Pendidikan : Sebuah Tinjauan Literatur’, 8(3), pp. 1826–1842.
- Jamalsari, F.N. (2020) ‘Meta-Analisis Pengaruh Penggunaan Laboratorium Virtual Untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Fisika’, 11(2), pp. 202–208. Available at: <https://doi.org/10.26877/jp2f.v11i2.6381>.
- Lastri, Y. (2023) ‘Pengembangan Dan Pemanfaatan Bahan Ajar E-Modul Dalam Proses Pembelajaran’, Jurnal Citra Pendidikan, 3(3), pp. 1139–1146. Available at: <https://doi.org/10.38048/jcp.v3i3.1914>.
- Nadawina, N. et al. (2025) Penerapan Pembelajaran Deep learning dalam Pendidikan di Indonesia. Star Digital Publishing. Available at: <https://books.google.co.id/books?id=deVhEQAAQBAJ>.
- Radiusman, R. (2020) ‘Studi Literasi: Pemahaman Konsep Anak Pada Pembelajaran Matematika’, FIBONACCI: Jurnal Pendidikan Matematika dan Matematika, 6(1), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.24853/fbc.6.1.1-8>.
- Rambe, A. and Aritonang, S. (2024) ‘EFEKTIVITAS MODUL PEMBELAJARAN FISIKA BERBASIS MODEL PEMBELAJARAN INKUIRI BERBANTUAN TEKNIK CONCEPT MAP’, EKSAKTA: Jurnal Penelitian dan Pembelajaran MIPA, 9(2), pp. 345–350.
- Sujanem, R., Suwindra, I.N.P. and Suswandi, I. (2022) ‘Efektivitas e-modul fisika berbasis masalah berbantuan simulasi phet dalam ujicoba terbatas untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa SMA’, Jurnal Pendidikan Fisika Undiksha, 12(2), pp. 181–191.
- Ula, A.S., Aulia, E.V. and Mahdiannur, M.A. (2025) ‘Efektivitas Penggunaan Simulasi PhET dalam Pembelajaran Fisika untuk Meningkatkan Pemahaman Konsep Hukum Newton pada Siswa SMA’.
- Zainuddin, Z., Rojali, A. and Susanti, A. (2025) ‘The Role of Deep learning in Developing Inclusive and Multicultural Education in Indonesian Junior High Schools’, 07(04), pp. 12850–12863.
- Sugiyono. 2019. Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D. Bandung: Alfabeta.