

EFEKTIVITAS MODEL PEMBELAJARAN BERBASIS PROYEK BERBANTUAN PHET *SIMULATION* DALAM MENINGKATKAN MOTIVASI DAN HASIL BELAJAR SISWA KELAS XI PADA MATERI ASAM BASA

Erik Farjemi ^{1*}, Eka Junaidi ², Yunita Arian Sani Anwar ³

^{1,2,3} Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Mataram. Jalan Majapahit No. 62
Mataram, NTB 83112, Indonesia.

*Corresponding Author. E-mail: erikfarjemi@gmail.com

Received: 19 September 2026

Accepted: 30 Mei 2026

Published: 30 Mei 2026

doi: 10.29303/cep.v9i1.10236

Abstrak

Rendahnya motivasi dan hasil belajar siswa disebabkan oleh metode pembelajaran yang masih konvensional serta minimnya penggunaan media interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas model pembelajaran berbasis proyek (*Project-Based Learning*/PjBL) berbantuan PhET *Simulation* dalam meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa kelas XI pada materi asam-basa. Penelitian ini dilakukan di SMAN 2 Praya menggunakan metode kuantitatif dengan desain *pretest-posttest dengan group*. Sampel dipilih secara acak, dengan kelas XI F1.1 sebagai kelas eksperimen yang menerapkan Project Based Learning (PjBL) berbantuan PhET Simulation dan kelas XI F1.2 sebagai kelas kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional. Data penelitian diperoleh melalui angket motivasi belajar dan penilaian hasil belajar psikomotorik, kemudian dianalisis menggunakan uji MANOVA. Hasil menunjukkan bahwa rata-rata motivasi belajar siswa pada kelas eksperimen meningkat dari 67,93 menjadi 72,52, sedangkan hasil belajar meningkat dari 33,34 menjadi 84,37. Pada kelas kontrol, motivasi belajar berubah dari 63,80 menjadi 73,93 dan hasil belajar berubah dari 28,26 menjadi 79,67. Hasil uji MANOVA menunjukkan nilai signifikansi 0,000 ($p < 0,05$), yang mengindikasikan adanya perbedaan signifikan secara simultan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol dalam motivasi dan hasil belajar siswa. Dengan demikian, model *Project Based Learning* (PjBL) berbantuan PhET Simulation efektif dalam meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa pada materi asam-basa.

Kata Kunci: *Project-Based Learning*, PhET *Simulation*, Motivasi Belajar, Hasil Belajar, Asam Basa.

The Effectiveness of Project-Based Learning Model Assisted by PhET Simulation In Improving Motivation And Learning Outcomes of Grade XI Students on Acid-Base Material

Abstract

Low student motivation and learning outcomes are often attributed to the continued use of conventional teaching methods and the limited integration of interactive learning media. This study aimed to determine the effectiveness of the Project-Based Learning (PjBL) model, assisted by the PhET Simulation, in improving the motivation and learning outcomes of eleventh-grade students on the acid-base topic. The research was conducted at SMAN 2 Praya using a quantitative approach with a pretest-posttest control group design. The samples were randomly selected, with class XI F1.1 serving as the experimental group, which received Project-Based Learning (PjBL) assisted by PhET Simulation, and class XI F1.2 serving as the control group, which received conventional instruction. Data were collected via a learning motivation questionnaire and psychomotor learning outcome assessments, and analyzed using MANOVA. The results showed that the average learning motivation score in the experimental class increased from 67.93 to 72.52, while learning outcomes improved from 33.34 to 84.37. In the control class, learning motivation changed from 63.80 to 73.93, and learning outcomes increased from 28.26 to 79.67. The MANOVA test yielded a p-value of 0.000 ($p < 0.05$), indicating a significant

simultaneous difference between the experimental and control groups in students' motivation and learning outcomes. Therefore, the Project-Based Learning (PjBL) model assisted by PhET Simulation was found to be effective in enhancing students' motivation and learning outcomes in acid-base learning.

Keywords: *Project-Based Learning, PhET Simulation, Learning Motivation, Learning Outcomes, Acid-Base*

PENDAHULUAN

Pendidikan memegang peranan penting dalam membentuk kehidupan manusia dan tidak dapat dipisahkan dari keseluruhan proses perkembangan individu. Dalam konteks ini, guru memiliki tanggung jawab untuk menjadi teladan, memotivasi, serta mengembangkan potensi dan kreativitas peserta didik agar mampu belajar secara aktif dan mandiri. Pembelajaran yang efektif seharusnya bersifat interaktif, menyenangkan, dan menantang, serta memberi ruang bagi peserta didik untuk mengekspresikan kreativitas dan berpikir kritis. Kimia sebagai salah satu mata pelajaran sains memiliki karakteristik yang abstrak sehingga menuntut pendekatan pembelajaran yang kontekstual (Haryanti et al., 2023). Karakteristik kimia yang kompleks dan abstrak menuntut keterampilan berpikir kritis siswa untuk memahami konsep-konsepnya (Sutri dan Juwita, 2023). Kesulitan dalam memahami konsep ini diperparah oleh kurangnya media pembelajaran yang dapat merepresentasikan fenomena kimia secara konkret (Mangubat, 2023).

Hasil observasi di SMAN 2 Praya menunjukkan bahwa pembelajaran kimia masih bersifat konvensional dan didominasi oleh ceramah. Fasilitas laboratorium yang terbatas dan minimnya penggunaan media visual menjadi faktor penghambat terciptanya pembelajaran yang bermakna dan menyenangkan. Dari hasil wawancara dengan siswa, diketahui bahwa kurangnya variasi media pembelajaran menyebabkan mereka cepat bosan dan kesulitan memahami materi. Siswa menyarankan penggunaan media berbasis teknologi, seperti video dan simulasi digital, untuk membantu mereka memahami konsep secara visual dan intuitif.

Salah satu materi yang dinilai sulit oleh siswa adalah asam-basa, karena melibatkan konsep yang tidak kasat mata dan perhitungan matematis. Konsep ini mencakup teori-teori asam-basa, pengukuran pH, serta kekuatan dan reaksi asam-basa yang abstrak (Asis et al., 2023). Hal ini ditunjukkan oleh hasil Ujian Tengah

Semester (UTS) Siswa SMAN 2 Praya kelas XI tahun ajaran 2024/2025 yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Ujian Tengah Semester

Kelas	Jumlah Siswa	KKM	Rata-Rata	% Tidak Tuntas
XI.F1.2	36	75	65,4	61,1 %
XI.F1.3	36	75	52,8	86,1 %

Berdasarkan data pada Tabel 1, banyak siswa belum mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM), dengan tingkat ketuntasan di bawah 40% pada beberapa kelas. Temuan ini menunjukkan adanya kebutuhan mendesak untuk menggunakan pendekatan pembelajaran yang lebih efektif dan kontekstual.

Kurikulum Merdeka dirancang untuk mendorong pembelajaran yang fleksibel, berpusat pada peserta didik, serta berbasis proyek dan konteks kehidupan nyata (Farwati, 2022). Dalam pembelajaran kimia, pendekatan ini bertujuan menumbuhkan kemampuan berpikir kritis, kemandirian, dan kolaborasi melalui kegiatan eksploratif yang relevan (Sadewa, 2022).

Dalam meningkatkan motivasi, partisipasi dan hasil belajar siswa dapat dilakukan dengan penerapan model-model pembelajaran inovatif seperti *Project-Based Learning* (PjBL) (Syukur & Hala, 2023; Sari et al., 2023). Model ini memberikan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan mendorong keterlibatan aktif siswa. Model *Project-Based Learning* (PjBL) adalah pendekatan yang menempatkan siswa sebagai aktor utama dalam menyelesaikan proyek nyata yang menantang dan bermakna (Yusika dan Turdjai, 2021). PjBL mendorong siswa mengembangkan keterampilan pemecahan masalah, kolaborasi, serta kreativitas yang penting dalam memahami materi sains, termasuk kimia (Gultom & Muchtar, 2022). PjBL mengarahkan siswa untuk menyelesaikan proyek nyata yang berkaitan dengan materi pelajaran secara kolaboratif. Bila didukung dengan penggunaan media interaktif seperti PhET

Simulation, proses pembelajaran menjadi lebih menarik dan mudah dipahami (Warsiki, 2023).

PhET *Simulation* menyediakan simulasi interaktif yang memungkinkan siswa mengeksplorasi konsep-konsep kimia secara visual dan virtual. Kombinasi antara PjBL dan PhET Simulation terbukti mampu meningkatkan keterlibatan siswa serta membantu mereka menghubungkan konsep abstrak dengan fenomena nyata (Burhani et al., 2022). PhET dikembangkan oleh University of Colorado dan dapat diakses secara daring. Media ini mendukung eksperimen virtual yang aman dan mudah digunakan, serta telah terbukti efektif dalam meningkatkan pemahaman dan minat belajar siswa dalam bidang sains (Finkelstein, 2006; Muzana et al., 2021).

Motivasi belajar mencerminkan sejauh mana siswa terdorong untuk terlibat dalam proses pembelajaran secara aktif dan mandiri (Rahmawati et al., 2022). Arifin dan Abduh (2021) menyatakan bahwa motivasi belajar dapat diukur melalui indikator keterlibatan dalam pemecahan masalah, kemauan untuk bertanya, dan kemampuan mencari informasi.

Hasil belajar merupakan ukuran ketercapaian tujuan pembelajaran yang mencakup kemampuan kognitif, psikomotorik, dan afektif (Dinawati & Arianti, 2024). Strategi pembelajaran yang kontekstual dan berbasis teknologi berkontribusi besar terhadap peningkatan hasil belajar siswa, terutama dalam mata pelajaran sains seperti kimia.

Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efektivitas model pembelajaran berbasis proyek berbantuan PhET *Simulation* dalam meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa pada materi asam-basa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap inovasi pembelajaran kimia yang efektif, interaktif, dan berbasis teknologi.

METODE

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif dengan pendekatan eksperimen. Desain yang digunakan adalah *pretest-posttest control group design* untuk melihat pengaruh model pembelajaran berbasis proyek berbantuan PhET Simulation terhadap motivasi dan hasil belajar siswa kelas XI pada materi asam-basa (Rustamana et al., 2024; Sugiyono, 2016). Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2024/2025 di SMAN 2 Praya, Lombok Tengah.

Jenis dan desain penelitian

Jenis penelitian ini adalah kuantitatif eksperimen dengan desain *pretest-posttest control group*. Desain ini memungkinkan pengukuran perbedaan sebelum dan sesudah perlakuan diberikan, serta membandingkannya dengan kelompok kontrol yang tidak menerima perlakuan (Harizon & Ekaputra, 2023).

Populasi dan subjek penelitian

Populasi penelitian ini adalah seluruh siswa kelas XI SMAN 2 Praya. Sampel ditentukan menggunakan teknik *random sampling*, yaitu metode yang memberikan peluang yang sama bagi setiap anggota populasi untuk dipilih (Sugiyono, 2017). Dua kelas dipilih, masing-masing sebagai kelompok eksperimen (XI F1.1) dan kelompok kontrol (XI F1.2), dengan jumlah siswa sebanyak 36 orang di tiap kelas.

Prosedur penelitian

Penelitian dilaksanakan dalam tiga tahap, yaitu persiapan, pelaksanaan, dan penilaian. Pada tahap persiapan dilakukan observasi awal di sekolah, penyusunan RPP berbasis PjBL, media PhET *Simulation*, serta uji coba instrumen. Tahap pelaksanaan mencakup pemberian pretest dan angket motivasi sebelum perlakuan, pelaksanaan pembelajaran sesuai RPP pada masing-masing kelas, serta pemberian posttest dan angket motivasi setelah perlakuan (Sugiyono, 2016). Kelas eksperimen menerima pembelajaran berbasis proyek berbantuan PhET, sedangkan kelas kontrol menggunakan model pembelajaran konvensional berupa ceramah dan diskusi.

Instrumen dan teknik pengumpulan data

Instrumen penelitian terdiri dari tes hasil belajar kognitif yang terdiri dari 10 soal pilihan ganda dan 5 soal essay, rubrik penilaian ranah psikomotorik, dan angket motivasi belajar. Angket motivasi disusun berdasarkan indikator keterlibatan dalam pemecahan masalah, kemauan bertanya, dan kemampuan mencari informasi (Arifin & Abduh, 2021). Rubrik psikomotorik digunakan untuk menilai perencanaan, pelaksanaan tugas, kemandirian, efisiensi, dan presentasi (Lase & Nababan, 2021). Teknik pengumpulan data dilakukan melalui tes tertulis yang terdiri dari 10 soal pilihan ganda dan 5 soal essay, pengisian angket, dan observasi langsung selama proses pembelajaran.

Teknik analisis data

Data dianalisis menggunakan uji statistik parametrik. Sebelum pengujian hipotesis,

dilakukan uji normalitas dan homogenitas untuk memastikan data memenuhi syarat analisis lanjutan. Perhitungan N-Gain digunakan untuk mengukur peningkatan hasil belajar siswa (Hake, 1999 dalam Sudjana, 2010). Uji MANOVA digunakan untuk mengetahui pengaruh model pembelajaran terhadap dua variabel terikat secara simultan, yaitu motivasi dan hasil belajar siswa, dengan tingkat signifikansi $p < 0,05$ (Rustamana et al., 2024).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model pembelajaran berbasis proyek berbantuan PhET Simulation terbukti memberikan dampak positif terhadap motivasi dan hasil belajar siswa. Peningkatan motivasi dan hasil belajar diukur melalui angket dan tes, yang dibandingkan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Hasilnya dianalisis menggunakan uji N-Gain dan MANOVA.

Pengaruh PjBL berbantuan PhET Simulation terhadap Motivasi Belajar Siswa

Hasil penelitian menunjukkan bahwa motivasi belajar siswa pada kelas yang menerapkan *Project-Based Learning* (PjBL) berbantuan PhET Simulation mengalami peningkatan setelah perlakuan. Meskipun skor akhir motivasi kelas kontrol sedikit lebih tinggi, peningkatan motivasi pada kelas eksperimen terjadi secara lebih merata pada seluruh indikator, yaitu keterlibatan dalam pemecahan masalah, kemauan bertanya, dan kemampuan mencari informasi. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan proyek yang dipadukan dengan simulasi interaktif mampu mendorong partisipasi aktif siswa selama proses pembelajaran.

Motivasi belajar siswa diukur melalui tiga indikator utama, yaitu keterlibatan dalam pemecahan masalah, kemauan untuk bertanya, dan kemampuan mencari informasi. Rata-rata motivasi belajar siswa di kelas eksperimen meningkat dari 67,93% menjadi 72,52%, sedangkan di kelas kontrol meningkat dari 63,80% menjadi 73,93% (Arifin & Abduh, 2021). Hal ini menunjukkan bahwa kedua kelas mengalami peningkatan, namun nilai akhir kelas kontrol sedikit lebih tinggi (Tabel 2). Hal ini kemungkinan disebabkan oleh kenyamanan siswa terhadap model pembelajaran konvensional yang lebih familiar, sesuai dengan teori *Self-Determination* oleh Ryan dan Deci (2020), bahwa motivasi tumbuh optimal ketika siswa merasa kompeten dan aman secara sosial.

Tabel 2. Hasil Angket Motivasi Belajar Siswa

Kelas	Motivasi Awal (%)	Motivasi Akhir (%)
XI F1.1 (Eksperimen)	67,93	72,52
XI F1.2 (Kontrol)	63,80	73,93

Peningkatan motivasi tersebut dapat dijelaskan melalui karakteristik PjBL yang menempatkan siswa sebagai pusat pembelajaran. Dalam model ini, siswa terlibat secara langsung dalam perencanaan, pelaksanaan, dan penyelesaian proyek sehingga muncul rasa memiliki terhadap proses belajar. Menurut penelitian Condliffe et al. (2017), pembelajaran berbasis proyek memberikan kesempatan kepada siswa untuk terlibat dalam tugas autentik yang relevan dengan kehidupan nyata sehingga dapat meningkatkan motivasi intrinsik dan keterlibatan belajar. Selain itu, penggunaan PhET Simulation memungkinkan siswa memvisualisasikan fenomena asam-basa yang sulit diamati secara langsung, sehingga proses belajar menjadi lebih menarik dan bermakna.

Temuan ini sejalan dengan penelitian Muzana et al. (2021) yang melaporkan bahwa penggunaan simulasi PhET mampu meningkatkan motivasi belajar siswa pada pembelajaran sains karena memberikan pengalaman belajar yang interaktif dan memungkinkan eksplorasi konsep secara mandiri. Penelitian oleh Wieman et al. (2020) juga menunjukkan bahwa simulasi interaktif membantu meningkatkan keterlibatan siswa melalui aktivitas eksploratif yang mendorong rasa ingin tahu dan keaktifan belajar. Meskipun demikian, peningkatan pada kelas eksperimen cenderung merata pada semua indikator. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan PhET Simulation mampu menarik perhatian siswa dan membantu mereka belajar secara lebih aktif dan mandiri (Sari et al., 2023).

Pengaruh PjBL berbantuan PhET Simulation terhadap Hasil Belajar

Hasil belajar siswa juga menunjukkan perbedaan yang signifikan. Rata-rata nilai pretest kelas eksperimen adalah 33,34 dan meningkat menjadi 84,37 pada *posttest*. Sementara itu, kelas kontrol meningkat dari 28,26 menjadi 79,67. Nilai N-Gain (Tabel 3) pada kelas eksperimen termasuk dalam kategori tinggi (0,71), sedangkan pada kelas kontrol termasuk dalam kategori sedang (0,64). Temuan ini menunjukkan bahwa model PjBL berbantuan PhET lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep asam-basa

dibandingkan dengan model pembelajaran konvensional (Maulida & Nurul, 2019).

Tabel 3. Hasil Uji N-Gain Hasil Belajar Siswa

Kelas	Pretest	Posttest	N-Gain	Kategori
XI F1.1 (Eksperimen)	33,34	84,37	0,71	Tinggi
XI F1.2 (Kontrol)	28,26	79,67	0,64	Sedang

Peningkatan hasil belajar tersebut menunjukkan bahwa keterlibatan siswa dalam kegiatan proyek mampu membantu mereka membangun pemahaman konseptual yang lebih mendalam. Pada materi asam-basa, siswa tidak hanya menerima informasi dari guru, tetapi juga mengeksplorasi konsep melalui simulasi virtual, diskusi kelompok, dan penyelesaian proyek yang berkaitan dengan fenomena nyata. Aktivitas tersebut memungkinkan siswa menghubungkan representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik yang menjadi karakteristik utama pembelajaran kimia (Taber, 2019).

Penggunaan PhET Simulation juga berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman konsep karena mampu memvisualisasikan proses ionisasi asam-basa, perubahan pH, dan interaksi partikel secara dinamis. Menurut Finkelstein et al. (2005), simulasi interaktif dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa karena memungkinkan mereka melakukan eksperimen virtual yang sulit dilakukan di laboratorium nyata. Hasil penelitian ini juga sejalan dengan temuan Burhani et al. (2022) yang menunjukkan bahwa integrasi PjBL dan media digital interaktif memberikan dampak positif terhadap hasil belajar siswa pada mata pelajaran kimia.

Selain itu, penilaian ranah psikomotorik (Tabel 4) memperkuat temuan tersebut. Rata-rata nilai psikomotorik kelas eksperimen adalah 77,84, lebih tinggi daripada kelas kontrol, yaitu 70,14. Aspek tertinggi yang dinilai adalah kemandirian dan kerja sama, yang menandakan peningkatan keterampilan abad ke-21 seperti kolaborasi dan efisiensi kerja (Harizon & Ekaputra, 2023).

Tabel 4. Hasil Rubrik penilaian Ranah Psikomotorik

Kelas	Nilai Psikomotorik
XI F1.1 (Eksperimen)	77,84
XI F1.2 (Kontrol)	70,14

Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberikan kesempatan kepada

siswa untuk mengembangkan keterampilan abad ke-21, khususnya kolaborasi, komunikasi, dan pemecahan masalah. Menurut Krajcik dan Blumenfeld (2006), PjBL dirancang untuk mendorong siswa bekerja secara kolaboratif dalam menyelesaikan tugas kompleks sehingga mampu mengembangkan keterampilan sosial dan keterampilan kerja ilmiah. Melalui penggunaan PhET Simulation, siswa juga dapat melakukan eksplorasi mandiri terhadap konsep-konsep kimia sehingga meningkatkan kemampuan belajar mandiri (*self-directed learning*).

Uji MANOVA digunakan untuk melihat pengaruh simultan terhadap dua variabel, yaitu motivasi dan hasil belajar. Hasil uji menunjukkan nilai F untuk hasil belajar sebesar 2,885 dan motivasi sebesar 2,089 dengan signifikansi $p = 0,000$ ($p < 0,05$), yang berarti terdapat perbedaan yang signifikan secara simultan antara kedua kelas (Rustamana et al., 2024). Fakta ini menunjukkan bahwa model pembelajaran PjBL berbantuan PhET efektif dalam meningkatkan hasil belajar dan motivasi secara bersamaan.

Tabel 5. Hasil Uji MANOVA

Variabel	Nilai F	Sig. (p-value)	Keterangan
Hasil Belajar	2,885	0,000	Signifikan ($p < 0,05$)
Motivasi Belajar	2,089	0,000	Signifikan ($p < 0,05$)

Hasil tersebut memperkuat teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun secara aktif melalui pengalaman belajar yang bermakna (Vygotsky, 1978). Dalam penelitian ini, siswa memperoleh pengalaman belajar melalui proyek dan simulasi virtual yang memungkinkan mereka mengonstruksi pemahaman konsep secara mandiri. Oleh karena itu, kombinasi PjBL dan PhET Simulation dapat menjadi alternatif strategi pembelajaran yang efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran kimia, khususnya pada materi asam-basa yang bersifat abstrak.

Berdasarkan keseluruhan data dan analisis, dapat disimpulkan bahwa penerapan model pembelajaran berbasis proyek berbantuan PhET Simulation berkontribusi positif tidak hanya pada peningkatan hasil belajar secara kognitif, tetapi juga pada ranah psikomotorik dan aspek afektif berupa motivasi belajar siswa. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian Sari et al. (2023), yang menekankan bahwa pembelajaran aktif dan berbasis proyek mampu menjembatani

antara teori dan praktik sekaligus menumbuhkan semangat belajar siswa secara menyeluruh.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa model pembelajaran berbasis proyek berbantuan PhET *Simulation* efektif dalam meningkatkan motivasi dan hasil belajar siswa pada materi asam-basa. Hal ini dibuktikan melalui peningkatan skor *pretest* ke *posttest* yang signifikan pada kelas eksperimen dibandingkan dengan kelas kontrol, baik dalam ranah kognitif maupun psikomotorik. Selain itu, peningkatan motivasi belajar siswa juga terlihat dari perubahan skor angket sebelum dan sesudah perlakuan. Meskipun hasil motivasi akhir di kelas kontrol sedikit lebih tinggi, peningkatan di kelas eksperimen lebih merata di semua indikator.

Penerapan model PjBL yang dipadukan dengan simulasi interaktif PhET terbukti mampu mengatasi kendala materi kimia yang bersifat abstrak, sekaligus mendorong partisipasi aktif siswa dalam proses pembelajaran. Model ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga mengembangkan keterampilan abad 21 seperti kerja sama, inisiatif, dan kemandirian siswa dalam menyelesaikan proyek yang diberikan.

Penelitian ini menunjukkan bahwa kombinasi pendekatan berbasis proyek dan teknologi digital seperti PhET *Simulation* memberikan dampak positif terhadap kualitas pembelajaran, khususnya pada topik-topik yang abstrak seperti asam-basa. Oleh karena itu, pendekatan ini dapat dijadikan salah satu alternatif strategi pembelajaran di sekolah, terutama dalam implementasi Kurikulum Merdeka yang mendorong pembelajaran aktif dan kontekstual.

Sebagai tindak lanjut, disarankan agar guru kimia mengembangkan perangkat ajar yang mengintegrasikan model PjBL dengan media digital seperti PhET pada materi lain yang juga bersifat abstrak. Penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan memperluas variabel yang diamati, seperti kolaborasi, kreativitas, atau kemampuan pemecahan masalah siswa, serta mengkaji dampaknya dalam jangka panjang terhadap prestasi akademik dan sikap ilmiah siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Amelia, M., & Aisya, N. (2021). *Implementasi model project based learning dalam meningkatkan kemampuan akademik siswa*. Jurnal Inovasi Pendidikan, 8(2), 123–130.
- Arifin, M., & Abduh, M. (2021). *Indikator motivasi belajar siswa dalam konteks pembelajaran sains*. Jurnal Pendidikan, 6(2), 89–97.
- Asis, A., Rohmawati, M., & Suyono, H. (2023). *Penerapan model pembelajaran kontekstual pada materi asam-basa untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa*. Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia, 7(1), 1–9.
- Burhani, R., Rahayu, S., & Fitria, N. (2022). *Efektivitas penggunaan PhET simulation berbasis laboratorium virtual dalam meningkatkan minat belajar kimia siswa*. Jurnal Pendidikan Sains, 10(2), 142–150.
- Dinawati, N., & Arianti, D. (2024). *Evaluasi hasil belajar kimia berdasarkan pendekatan saintifik dan keterampilan abad 21*. Jurnal Evaluasi Pendidikan Sains, 9(1), 55–64.
- Farwati, S. (2022). *Implementasi Kurikulum Merdeka dalam pembelajaran kimia di sekolah menengah*. Jurnal Inovasi Kurikulum, 18(3), 211–220.
- Finkelstein, N. D. (2006). *PhET: Physics Education Technology project*. Journal of Science Education and Technology, 15(3–4), 285–294.
- Finkelstein, N. D., Adams, W. K., Keller, C. J., Kohl, P. B., Perkins, K. K., Podolefsky, N. S., Reid, S., & LeMaster, R. (2006). *When learning about the real world is better done virtually: A study of substituting computer simulations for laboratory equipment*. Physical Review Special Topics - Physics Education Research, 1(1), 010103.
- Gultom, S., & Muchtar, M. (2022). *Penerapan model project based learning untuk meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan hasil belajar siswa*. Jurnal Pendidikan dan Inovasi, 12(1), 31–39.

- Harizon, D., & Ekaputra, L. (2023). *Efektivitas desain eksperimen dalam pembelajaran IPA berbasis teknologi*. Jurnal Sains dan Pendidikan, 11(1), 35–44.
- Haryanti, E., Nurlaela, L., & Ramadhan, D. (2023). *Tantangan pembelajaran kimia sebagai ilmu abstrak dalam pendidikan menengah*. Jurnal Pendidikan Kimia Nusantara, 5(2), 87–95.
- Lase, M., & Nababan, J. (2021). *Penggunaan rubrik penilaian dalam penilaian praktikum*. Jurnal Evaluasi Pendidikan, 10(1), 14–23.
- Mangubat, C. R. (2023). *The effect of students' prior knowledge on chemistry learning outcomes*. International Journal of Chemistry Education, 9(1), 33–40.
- Maulida, E., & Nurul, A. (2019). *Penerapan model pembelajaran berbasis proyek dalam meningkatkan hasil belajar kimia siswa SMA*. Jurnal Inovasi Pendidikan Kimia, 13(2), 134–141.
- Muzana, A., Sutrisno, B., & Rahmawati, T. (2021). *Pengembangan media pembelajaran berbasis PhET simulation untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa*. Jurnal Teknologi Pendidikan, 23(1), 41–50.
- Rahmawati, A., Nurfadhilah, I., & Lestari, R. (2022). *Hubungan antara motivasi belajar dan hasil belajar siswa pada pembelajaran kimia daring*. Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia, 6(2), 87–94.
- Rustamana, A., Handayani, I., & Putra, D. (2024). *Metode penelitian kuantitatif dalam pendidikan sains*. Bandung: EduTech Press.
- Ryan, R. M., & Deci, E. L. (2020). *Intrinsic and extrinsic motivations: Classic definitions and new directions*. Contemporary Educational Psychology, 25(1), 54–67.
- Sadewa, R. A. (2022). *Strategi implementasi Kurikulum Merdeka dalam pembelajaran berbasis proyek di SMA*. Jurnal Kurikulum dan Pembelajaran, 10(2), 145–155.
- Sari, D. A., Prasetyo, Z. K., & Hidayah, R. (2023). *Integrasi project based learning dan culturally responsive teaching untuk meningkatkan motivasi belajar siswa*. Jurnal Inovasi Pembelajaran, 11(2), 100–112.
- Sugiyono. (2016). *Metode penelitian pendidikan: Pendekatan kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Sugiyono. (2017). *Metode penelitian kuantitatif dan kualitatif untuk penelitian pendidikan*. Bandung: Alfabeta.
- Suryadien, S., Rahayu, S. N., & Zulkifli, Z. (2022). *Analisis capaian pembelajaran kimia dalam kurikulum merdeka*. Jurnal Pendidikan Kimia Nusantara, 5(1), 1–10.
- Sutri, Y., & Juwita, A. (2023). *Pentingnya keterampilan berpikir kritis dalam pembelajaran kimia*. Jurnal Pendidikan Sains Indonesia, 9(1), 25–31.
- Syukur, S., & Hala, Y. (2023). *Pengaruh model project based learning berbantuan media interaktif terhadap motivasi belajar kimia*. Jurnal Pendidikan Kimia dan Terapan, 12(1), 55–63.
- Warsiki, E. (2023). *Pemanfaatan PhET simulation berbasis inquiry dalam meningkatkan aktivitas dan hasil belajar pada materi asam-basa*. Jurnal Pendidikan Kimia Eksperimen, 7(2), 71–80.
- Yusika, S., & Turdjai, T. (2021). *Model project based learning dalam pembelajaran kimia berbasis karakter*. Jurnal Pendidikan Sains Indonesia, 9(3), 271–279.