



Implementasi *Virtual Lab* dalam Pembelajaran Mendalam untuk Meningkatkan Kompetensi Guru IPA SMP Kabupaten Batang

Joko Siswanto¹, Muhammad Syaipul Hayat², Siti Patonah³, Azizul Ghofar Candra Wicaksono⁴

^{1,2,3}Program Studi Magister Pendidikan IPA, Pascasarjana, Universitas PGRI Semarang

⁴Program Studi Pendidikan Biologi, Fakultas Pendidikan Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Teknologi Informasi, Universitas PGRI Semarang

Email: m.syaipulhayat@upgris.ac.id

INFO ARTIKEL

Kata kunci:

Digital Learning, Guru IPA, Pembelajaran Mendalam, *Virtual Lab*

ABSTRAK

Pembelajaran IPA di SMP Kabupaten Batang masih menghadapi keterbatasan sarana laboratorium dan rendahnya frekuensi praktikum, sehingga berdampak pada kurang optimalnya penerapan pembelajaran mendalam. Kondisi ini diperkuat oleh temuan awal bahwa sebagian besar sekolah belum memanfaatkan teknologi digital secara efektif untuk mendukung pembelajaran mendalam. *Virtual lab* menjadi solusi strategis untuk menjembatani keterbatasan fasilitas sekaligus mendorong pembelajaran IPA yang lebih bermakna, interaktif, dan berpusat pada siswa. Namun demikian, pemanfaatan *virtual lab* oleh guru IPA masih terbatas akibat minimnya kompetensi pedagogik dan literasi digital. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini bertujuan meningkatkan kompetensi guru IPA SMP Kabupaten Batang dalam merancang dan mengimplementasikan pembelajaran mendalam berbantuan *virtual lab*. Metode pelaksanaan meliputi identifikasi kebutuhan, *workshop* pemanfaatan *virtual lab*, pendampingan penyusunan dan implementasi perangkat pembelajaran, evaluasi, serta monitoring keberlanjutan program. Hasil kegiatan menunjukkan bahwa 85% guru mengalami peningkatan kemampuan dalam merancang pembelajaran IPA yang sistematis dan selaras dengan prinsip pembelajaran mendalam. Guru berhasil menghasilkan dan mengimplementasikan perangkat pembelajaran berbasis *virtual lab*, serta menunjukkan peningkatan kualitas proses pembelajaran yang lebih interaktif dan berbasis inkuiri. Program ini juga memperkuat peran MGMP IPA sebagai wadah kolaborasi profesional.



ARTICLE INFO

ABSTRACT

Keywords:

Deep Learning, Digital Learning, Teacher Science, Virtual Lab

Science learning in junior secondary schools in Batang Regency continues to face limitations in laboratory facilities and a low frequency of practical activities, which negatively affects the optimal implementation of deep learning. This condition is reinforced by preliminary findings indicating that most schools have not yet utilized digital technology effectively to support deep learning. Virtual laboratories offer a strategic solution to overcome facility constraints while promoting more meaningful, interactive, and student-centered science learning. However, the use of virtual laboratories by science teachers remains limited due to insufficient pedagogical competence and digital literacy. This community service program aimed to enhance the competence of junior secondary school science teachers in Batang Regency in designing and implementing deep learning supported by virtual laboratories. The program was implemented through needs assessment, virtual laboratory workshops, assistance in the development and implementation of instructional materials, evaluation, and sustainability monitoring. The results showed that 85% of teachers demonstrated improved ability to design systematic science instruction aligned with deep learning principles. Teachers successfully developed and implemented virtual laboratory-based instructional materials and demonstrated improved learning processes that were more interactive and inquiry-based. The program also strengthened the role of the Science Teachers' Working Group (MGMP IPA) as a platform for professional collaboration.

1. Pendahuluan

Pembelajaran mendalam (*deep learning*) muncul sebagai respons strategis terhadap tantangan multidimensional yang dihadapi sistem pendidikan Indonesia, baik pada level global maupun nasional. Di tengah dinamika abad ke-21 yang ditandai oleh ketidakpastian, kompleksitas, percepatan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi, serta keberagaman sosial budaya, pendidikan dituntut tidak lagi sekadar mentransmisikan pengetahuan, tetapi membekali peserta didik dengan kemampuan berpikir kritis, kreatif, adaptif, dan berkarakter. Rendahnya capaian literasi, numerasi, dan berpikir tingkat tinggi peserta didik Indonesia dalam asesmen internasional seperti PISA menunjukkan bahwa praktik pembelajaran yang masih berorientasi pada hafalan dan reproduksi informasi belum mampu menjawab tantangan tersebut (OECD, 2023). Pada saat yang sama, momentum bonus demografi dan visi Indonesia Emas 2045 menuntut sistem pendidikan untuk menyiapkan generasi muda yang tidak hanya kompeten secara akademik, tetapi juga memiliki ketahanan, kemandirian, growth mindset, serta kemampuan mentransfer pengetahuan ke konteks kehidupan nyata dan dunia kerja masa depan. Dalam konteks inilah pembelajaran mendalam diposisikan sebagai pendekatan pedagogis yang relevan dan mendesak, karena menekankan pemahaman konseptual yang bermakna, pembelajaran berbasis inkuiri dan refleksi, serta pengembangan *transferable skills* yang

dapat diterapkan lintas konteks dan disiplin ilmu (Hattie & Donoghue, 2016; Parker *et al.*, 2011; Winch, 2017). Sejalan dengan arah kebijakan Kurikulum Merdeka, pembelajaran mendalam diharapkan menjadi fondasi transformasi pendidikan yang mampu menjawab tantangan kualitas, pemerataan, dan relevansi pendidikan Indonesia dalam menyongsong Indonesia Emas 2045.

Dalam kerangka pembelajaran mendalam, *digital learning* memiliki peran yang semakin strategis karena mampu menyediakan lingkungan belajar yang mendukung keterlibatan aktif, eksplorasi konseptual, dan refleksi bermakna. Teknologi digital memungkinkan perluasan ruang dan pengalaman belajar siswa melalui akses terhadap berbagai sumber belajar, simulasi interaktif, serta representasi konsep yang lebih kontekstual dan dinamis. Melalui pemanfaatan *platform* pembelajaran digital dan media berbasis teknologi, siswa tidak hanya menerima informasi secara pasif, tetapi terlibat secara aktif dalam proses membangun pengetahuan, menguji pemahaman, dan mengaitkan konsep dengan situasi nyata. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa inovasi digital learning berkontribusi signifikan dalam memperkuat prinsip pembelajaran mendalam, terutama dalam meningkatkan keterlibatan belajar, motivasi intrinsik, serta kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah siswa melalui pengalaman belajar yang interaktif dan terpersonalisasi (Cahyana, 2025; Aji,

2025). Dengan demikian, *digital learning* tidak dapat diposisikan sekadar sebagai alat pendukung pembelajaran, melainkan sebagai bagian integral dari strategi pedagogis yang selaras dengan tuntutan pendidikan abad ke-21, di mana integrasi teknologi, pedagogi, dan pengembangan keterampilan kognitif tingkat tinggi menjadi prasyarat untuk mewujudkan pembelajaran mendalam yang efektif dan berkelanjutan (Rahmandani *et al.*, 2025).

Dalam konteks implementasi *digital learning* pada pembelajaran mendalam, kondisi wilayah menjadi faktor penting yang menentukan relevansi dan urgensi pemanfaatan teknologi. Kabupaten Batang merupakan salah satu daerah dengan jumlah SMP yang cukup besar, baik negeri maupun swasta, namun sebagian besar sekolah masih menghadapi keterbatasan sarana dan prasarana pendukung pembelajaran IPA. Berdasarkan data MGMP IPA Kabupaten Batang, lebih dari 60% SMP belum memiliki laboratorium IPA yang lengkap, sementara sekolah yang telah memiliki fasilitas laboratorium pun belum sepenuhnya mengelola dan memanfaatkannya secara optimal dalam proses pembelajaran. Kondisi ini berdampak langsung pada terbatasnya pelaksanaan kegiatan praktikum, rendahnya kesempatan siswa untuk melakukan observasi dan eksperimen secara langsung, serta minimnya pengalaman belajar saintifik yang bermakna. Akibatnya, pembelajaran IPA cenderung berlangsung secara teoritis dan kurang mendukung

pengembangan keterampilan proses sains, berpikir kritis, serta pemahaman konseptual yang mendalam. Di tengah keterbatasan tersebut, perkembangan teknologi pendidikan membuka peluang strategis bagi guru untuk mengembangkan pembelajaran berbasis digital, khususnya melalui pemanfaatan simulasi eksperimen dan *virtual lab*, sebagai alternatif yang mampu menjembatani keterbatasan fasilitas fisik sekaligus memperkaya pengalaman belajar siswa secara kontekstual dan interaktif.

Virtual lab dalam pembelajaran IPA merupakan media berbasis digital yang memungkinkan siswa melakukan praktikum dan simulasi eksperimen secara interaktif tanpa ketergantungan pada fasilitas laboratorium fisik, sehingga relevan bagi sekolah dengan keterbatasan sarana. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa pemanfaatan *virtual lab* tidak hanya mendukung pelaksanaan eksperimen secara aman dan fleksibel, tetapi juga meningkatkan pemahaman konsep IPA, keterampilan proses sains, serta keterlibatan dan motivasi belajar siswa (Putri *et al.*, 2025; Ismail *et al.*, 2025). Bahkan, penggunaan *virtual lab* dengan pendekatan STEM terbukti efektif dalam meningkatkan literasi sains siswa pada jenjang pendidikan menengah (Ismail *et al.*, 2025). Temuan ini diperkuat oleh hasil tinjauan sistematis Sasqiah *et al.* (2025) yang menegaskan dampak positif *virtual lab* terhadap pemahaman konseptual dan motivasi belajar IPA. Dengan demikian, *virtual lab* tidak hanya berfungsi sebagai alternatif praktikum, tetapi

juga sebagai strategi pedagogis yang memperkuat implementasi pembelajaran mendalam melalui pengalaman belajar yang aktif, kontekstual, dan reflektif.

Pemanfaatan *virtual lab* dalam pembelajaran IPA di SMP Kabupaten Batang hingga saat ini masih terbatas karena sebagian besar guru belum memiliki kompetensi pedagogis yang memadai dalam mengintegrasikan *virtual lab* ke dalam pembelajaran. Meskipun tersedia berbagai *platform virtual lab* yang mudah diakses dan sesuai dengan kurikulum, pemanfaatannya belum menjadi praktik pembelajaran yang berkelanjutan akibat belum adanya pelatihan terstruktur dan pendampingan yang mengaitkan teknologi tersebut dengan perangkat ajar dan prinsip pembelajaran mendalam. Kondisi ini mencerminkan adanya kesenjangan kompetensi guru. Kabupaten Batang memiliki potensi yang mendukung implementasi *virtual lab*, antara lain MGMP IPA yang aktif, dukungan Dinas Pendidikan, serta akses internet yang relatif memadai di sebagian besar sekolah. Oleh karena itu, tim Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) Universitas PGRI Semarang melaksanakan kegiatan pelatihan dan pendampingan untuk meningkatkan kompetensi guru IPA Kabupaten Batang dalam memanfaatkan *virtual lab* sebagai bagian integral dari pembelajaran mendalam guna meningkatkan kualitas pembelajaran IPA di SMP Kabupaten Batang.

2. Metode

Program Pengabdian kepada Masyarakat dilaksanakan oleh tim dosen Universitas PGRI Semarang bekerja sama dengan MGMP IPA SMP Kabupaten Batang sebagai mitra. Peserta terdiri dari seluruh guru IPA di sekolah mitra. Program dirancang untuk meningkatkan kompetensi guru dalam pembelajaran mendalam berbantuan *virtual lab* melalui lima tahap utama.

Tahapan pertama adalah identifikasi kebutuhan. Tahap ini dimulai dengan *Focus Group Discussion* (FGD) antara tim pengabdian dan guru MGMP IPA untuk menyamakan persepsi terkait permasalahan pembelajaran IPA, mengidentifikasi kebutuhan pemanfaatan *virtual lab*, serta menentukan fokus kegiatan. Tim kerja bersama dibentuk dan jadwal kegiatan disepakati agar tidak mengganggu proses belajar mengajar.

Tahap selanjutnya adalah *workshop* yang bertujuan meningkatkan pemahaman guru mengenai pembelajaran mendalam dan penggunaan *virtual lab*. Metode yang digunakan meliputi presentasi interaktif, studi kasus, diskusi kelompok, dan praktik langsung *platform virtual lab*. Guru juga dilatih menyusun perangkat pembelajaran seperti RPP, LKPD, dan modul ajar berbasis pembelajaran mendalam.

Setelah itu, guru menerima pendampingan intensif dalam menyusun dan menerapkan perangkat pembelajaran IPA berbasis *virtual lab*.

Tim dosen memberikan bimbingan, umpan balik, dan mendampingi implementasi di kelas maupun sekolah percontohan, sehingga guru dapat menyesuaikan metode dengan karakteristik siswa dan materi.

Evaluasi dilakukan melalui analisis perangkat ajar, observasi proses pembelajaran, dan refleksi bersama guru. Aspek yang dinilai mencakup kesesuaian perangkat dengan prinsip pembelajaran mendalam, keterpaduan *virtual lab*, kreativitas, dan keterlibatan siswa.

Tahap terakhir adalah *monitoring* dan keberlanjutan. Koordinasi dengan MGMP IPA dilanjutkan untuk membentuk komunitas praktisi pembelajaran sebagai wadah berbagi praktik baik, refleksi, dan pengembangan inovasi. Dengan demikian, PkM diharapkan menghasilkan praktik pembelajaran yang berkelanjutan dan berdampak luas.

3. Hasil dan Pembahasan

Kegiatan *workshop* yang dilaksanakan secara daring, menjadi tahap awal yang strategis karena berfungsi sebagai pondasi bagi guru untuk memahami dan menginternalisasi pendekatan *deep learning* dalam pembelajaran di sekolah. Pada sesi pertama *workshop*, tim pengabdian menyampaikan materi mengenai prinsip dasar *virtual lab* dan keterkaitannya dengan strategi pembelajaran berbasis inkuiri yang menjadi ciri pembelajaran mendalam

khususnya dalam pembelajaran IPA, sehingga guru memahami bahwa teknologi ini tidak hanya sekadar media, tetapi alat untuk memperkaya proses eksplorasi ilmiah siswa. *Virtual lab* dapat memperluas akses terhadap eksperimen dan simulasi yang interaktif, aman, dan fleksibel meskipun fasilitas fisik terbatas, serta mampu meningkatkan keterlibatan dan pemahaman konsep IPA (Emda *et al.*, 2025). Diskusi interaktif selama *workshop* mengajak guru untuk mengevaluasi praktik pembelajaran konvensional mereka dan merumuskan strategi integrasi *virtual lab* yang sesuai dengan konten kurikulum dan karakteristik siswa masing-masing.



(a)



(b)

Gambar 1. Sesi tanya jawab (a) *Virtual Lab* dalam Materi Fisika dan Kimia (b) *Virtual Lab* dalam Materi Biologi

Sesi lanjutan difokuskan pada praktik penggunaan berbagai *platform virtual lab* yang relevan dengan materi IPA seperti fisika, kimia, dan biologi,

termasuk demonstrasi simulasi dan eksplorasi fitur-fitur kunci. Guru kemudian dibimbing untuk menyusun *draft* perangkat pembelajaran berupa RPP dan LKPD yang memanfaatkan *virtual lab* sebagai pusat aktivitas inkuiri. Pendekatan ini mencerminkan kebutuhan pengembangan keterampilan proses sains dan berpikir tingkat tinggi siswa melalui pengalaman belajar yang kontekstual (Aspariga *et al.*, 2024; Ismail *et al.*, 2025). Pendampingan langsung dari tim PkM serta diskusi kelompok memperkuat pemahaman guru terhadap penyusunan asesmen yang mendukung pembelajaran mendalam, di mana asesmen tidak lagi semata mengukur hasil akhir tetapi juga proses berpikir dan keterampilan siswa dalam menerapkan konsep. Hasil *workshop* ini berupa *draft* awal perangkat pembelajaran yang siap diuji coba pada tahap implementasi berikutnya serta meningkatnya kesiapan guru dalam menerapkan *virtual lab* secara pedagogis.

Tahap pelaksanaan dan pendampingan implementasi difokuskan pada penerapan langsung perangkat pembelajaran IPA berbantuan *virtual lab* yang telah disusun pada tahap *workshop*. Setelah *workshop* daring, tim PkM mengadakan sesi refleksi bersama guru untuk meninjau rancangan perangkat, menindaklanjuti masukan, dan menyusun strategi implementasi yang lebih matang. Pendampingan intensif diberikan melalui kegiatan simulasi implementasi di kelas dan bimbingan teknis (bimtek), di mana guru

melaksanakan pembelajaran berbasis *virtual lab* sebagaimana direncanakan. Tim PkM berperan sebagai fasilitator, membantu guru menyesuaikan strategi agar siswa terlibat secara aktif, berpikir reflektif, analitis, dan mampu mentransfer konsep IPA ke konteks baru.

Selama implementasi, guru menunjukkan antusiasme tinggi dan mulai mengintegrasikan strategi pembelajaran aktif seperti *inquiry learning* serta eksplorasi *virtual lab* yang menuntun siswa melakukan observasi, eksperimen, dan analisis data secara mandiri. Tim PkM melakukan observasi dan umpan balik langsung terkait fasilitasi guru, pengelolaan aktivitas belajar, dan asesmen yang digunakan.



Gambar 2. Review dan Asesmen Pelaksanaan Implementasi *Virtual Lab* Pembelajaran Mendalam

Selain mendampingi proses implementasi, tim PkM membantu guru mengembangkan instrumen asesmen formatif yang menilai kemampuan refleksi, analisis, dan penerapan konsep IPA. Hal ini memperkuat pergeseran paradigma guru dari

sekadar penilai hasil akhir ke penilaian holistik yang menekankan proses berpikir siswa. Dari tahap pendampingan ini, terlihat peningkatan profesionalisme guru, di mana pembelajaran tidak lagi sekadar penyampaian materi, tetapi menjadi pengalaman belajar bermakna yang mendorong keterampilan berpikir kritis, kolaboratif, dan mandiri bagi siswa.

Tahap evaluasi dilaksanakan untuk menilai sejauh mana guru IPA SMP Kabupaten Batang mampu memahami, merancang, dan mengimplementasikan pembelajaran mendalam berbantuan *virtual lab*. Evaluasi mencakup analisis perangkat pembelajaran yang dikembangkan, seperti RPP dan LKPD berbasis *virtual lab*, serta pengamatan terhadap proses pembelajaran di kelas. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa 85% guru mengalami peningkatan signifikan dalam merancang pembelajaran IPA yang sistematis dan konsisten dengan prinsip pembelajaran mendalam. Guru berhasil mengintegrasikan aktivitas inkuiri, eksplorasi fenomena melalui *virtual lab*, dan kegiatan reflektif yang mendorong siswa memahami konsep secara lebih bermakna. Perangkat pembelajaran yang disusun sebagian besar memenuhi indikator pembelajaran mendalam, termasuk keterlibatan aktif siswa, penguatan pemahaman konseptual, serta pemanfaatan teknologi sebagai sarana eksplorasi ilmiah.

Evaluasi juga mengungkap tantangan yang masih dihadapi guru,

seperti pengelolaan waktu pembelajaran ketika menggabungkan eksplorasi *virtual lab* dengan diskusi dan refleksi kelas. Selain itu, pengembangan instrumen asesmen yang mampu mengukur capaian pembelajaran mendalam, termasuk analisis, penalaran ilmiah, dan transfer konsep ke konteks baru masih perlu ditingkatkan. Hasil evaluasi menegaskan bahwa kegiatan PkM memberikan dampak nyata terhadap peningkatan kapasitas pedagogik guru IPA. Guru tidak hanya memahami konsep pembelajaran mendalam dan pemanfaatan *virtual lab* secara teoretis, tetapi juga mampu mengaplikasikannya dalam praktik pembelajaran yang lebih interaktif, kontekstual, dan berpusat pada siswa. Temuan ini menjadi dasar penting bagi penguatan keberlanjutan program melalui pendampingan lanjutan dan forum berbagi praktik baik di lingkungan MGMP IPA SMP Kabupaten Batang.

Tahap monitoring dan keberlanjutan program bertujuan untuk memastikan bahwa hasil pelatihan dan pendampingan pembelajaran mendalam berbantuan *virtual lab* terus dikembangkan dan diimplementasikan secara berkelanjutan oleh guru IPA SMP Kabupaten Batang. Tindak lanjut dilakukan melalui penguatan peran MGMP IPA Kabupaten Batang sebagai komunitas belajar profesional, yang berfungsi sebagai wadah berbagi praktik baik, refleksi pembelajaran, serta diskusi pengembangan perangkat ajar berbasis *virtual lab* sesuai prinsip pembelajaran

mendalam. Dalam forum ini, guru saling bertukar pengalaman terkait implementasi *virtual lab*, mengidentifikasi kendala, dan merumuskan solusi berbasis konteks sekolah masing-masing. Tim PkM Universitas PGRI Semarang tetap berperan sebagai pendamping akademik yang memberikan arahan dan masukan secara berkala.

Keberlanjutan program juga diarahkan pada integrasi pembelajaran mendalam berbantuan *virtual lab* ke dalam perencanaan pembelajaran dan praktik supervisi akademik di sekolah. Guru yang telah mengikuti kegiatan PkM berperan sebagai agen perubahan dan fasilitator internal bagi rekan sejawat, sehingga pemanfaatan *virtual lab* dapat diperluas dan disesuaikan dengan berbagai materi IPA. Refleksi bersama menunjukkan komitmen kuat dari guru dan pengurus MGMP untuk melanjutkan implementasi pembelajaran berbasis *virtual lab* secara mandiri. Dengan demikian, keberlanjutan program tidak hanya meningkatkan kompetensi individual guru, tetapi juga mendorong terbentuknya ekosistem pembelajaran IPA yang inovatif, kolaboratif, dan berorientasi pada pengembangan pembelajaran mendalam di Kabupaten Batang.

4. Kesimpulan

Pembelajaran mendalam berbantuan *virtual lab* efektif meningkatkan kualitas pembelajaran IPA di SMP Kabupaten Batang,

terutama di tengah keterbatasan sarana laboratorium fisik. Melalui rangkaian kegiatan mulai dari identifikasi kebutuhan, *workshop*, pendampingan implementasi, evaluasi, hingga monitoring keberlanjutan, 85% guru IPA mengalami peningkatan kompetensi dalam merancang dan melaksanakan pembelajaran berbasis inkuiri, berpusat pada siswa, dan memanfaatkan teknologi secara bermakna. Guru berhasil menyusun dan menerapkan perangkat pembelajaran berbasis *virtual lab* yang memperkuat pemahaman konseptual, keterampilan berpikir analitis, serta keterlibatan aktif siswa. Selain meningkatkan kompetensi pedagogik guru, program ini juga memperkuat peran MGMP sebagai komunitas belajar profesional, sehingga implementasi pembelajaran mendalam berbantuan *virtual lab* memiliki potensi untuk berkembang secara berkelanjutan, mendukung praktik pembelajaran IPA yang inovatif, adaptif, dan relevan dengan tuntutan pendidikan abad ke-21.

5. Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada Universitas PGRI Semarang atas dukungan pendanaan, fasilitas, serta kesempatan yang diberikan, sehingga kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini dapat berjalan lancar dan mencapai hasil yang maksimal.

6. Daftar Pustaka

- Aji, M. A. (2025). Innovation in digital education. *Journal of Innovative Pedagogical Practices in Education*, 4(1), 83-94.
- Aspariga, D., Zulfitri, Z., & Nugroho, A. O. (2024). Peran media interaktif virtual laboratory pada pembelajaran IPA di sekolah: A literature review. *Jurnal Kajian Pendidikan IPA*, 4(2), 328-333. <https://doi.org/10.52434/jkpi24137>
- Cahyana, E. (2025). The effect of digital learning innovation on enhancing deep learning and student engagement in secondary schools. *Proceeding of the International Conference on Global Education and Learning*, 2(2), 27-31. <https://doi.org/10.62951/icgel.v2i2.165>
- Emda, A., Setiawan, S., & Darwani. (2025). Laboratorium virtual sebagai alternatif media berbasis digital dalam pembelajaran IPA. *Jurnal Kolaborasi Akademia*, 2(2), 141-147. <https://doi.org/10.26811/qp7rgf84>
- Hattie, J., & Donoghue, G. M. (2016). Learning strategies: A synthesis and conceptual model. *Educational Psychologist*, 51(2), 219-240. <https://doi.org/10.1038/npjscilearn.2016.13>
- Ismail, I., Permanasari, A., & Setiawan, W. (2025). Efektivitas virtual lab berbasis STEM dalam meningkatkan literasi sains siswa dengan perbedaan gender. *Jurnal Inovasi Pendidikan IPA*, 2(2), 85-97.
- OECD. (2023). *PISA 2022 results (Volume I): The state of learning and equity in education*. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Parker, J., Patton, K., Madden, M., & Sinclair, C. (2011). Mapping the landscape of subject matter knowledge in physical education teacher education: A systematic review. *Physical Education and Sport Pedagogy*, 16(3), 253-271. <https://doi.org/10.1080/17408989.2010.535200>
- Putri, L. A., Permanasari, A., Winarno, N., & Ahmad, N. J. (2025). Enhancing students' scientific literacy using virtual lab activity with inquiry-based learning. *Journal of Science Learning*, 4(2), 173-184. <https://doi.org/10.17509/jsl.v4i2.27561>
- Rahmandani, F., Hamzah, M. R., Handayani, T., & Kurniawan, M. W. (2025). Integrasi pembelajaran mendalam (*deep learning*) dalam mewujudkan pembelajaran yang bermutu dan bermakna bagi peserta didik. *Inovasi: Jurnal Sosial Humaniora dan Pendidikan*, 4(3), 769-781. <https://doi.org/10.55606/inovasi.v4i2.4896>
- Sasqiah, R. N., Aulia, E. V., & Mahdiannur, M. A. (2025). Penggunaan media virtual lab untuk meningkatkan pemahaman konsep pembelajaran IPA: Kajian systematic review. *Sindoro: Cendikia Pendidikan*, 17(12), 1-7. <https://doi.org/10.9644/sindoro.v3i9.267>
- Winch, C. (2017). *Curriculum design and epistemic ascent*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781315684632>