

Pelatihan Penggunaan Lab Virtual Berbasis PhET Untuk Guru Sekolah Dasar dalam Pembelajaran IPA

Dedi Holden Simbolon^{1*}, Eni Yusnita br Pardede², Theresia Perbina², Alena Rosiana Manik³

¹FKIP, Magister Pendidikan Dasar, Universitas Quality, Medan, Indonesia

²FKIP, Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Universitas Quality, Medan, Indonesia

³Fakultas Sosial dan Hukum, Manajemen, Universitas Quality, Medan, Indonesia

Email: ^{1*}dedi.holden@universitasquality.ac.id

(* : dedi.holden@universitasquality.ac.id)

Abstrak – Kegiatan pengabdian masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan kompetensi guru sekolah dasar dalam memanfaatkan laboratorium virtual berbasis PhET Interactive Simulations pada pembelajaran IPA, khususnya pada topik “Perubahan Wujud Benda”. Program dilaksanakan melalui pelatihan berbasis workshop yang dipadukan dengan pendampingan selama dua minggu untuk memastikan implementasi di kelas berjalan optimal. Metode pelaksanaan mencakup pelatihan teknis pengoperasian PhET, pelatihan pedagogis penyusunan RPP dan LKPD berbasis inkuiri, praktik mandiri, serta evaluasi pretest–posttest dan observasi pelaksanaan pembelajaran. Hasil kegiatan menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada kompetensi teknis dan pedagogis guru, ditandai dengan kemampuan mengoperasikan simulasi, merancang LKPD yang selaras dengan fitur visual PhET, serta mengintegrasikannya ke dalam langkah-langkah pembelajaran berbasis inkuiri. Implementasi di kelas menunjukkan bahwa LKPD berbasis PhET mampu meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan pemahaman konsep siswa. Selain itu, pendampingan pasca-pelatihan membantu guru mengatasi kendala teknis serta memperkuat keberlanjutan penerapan laboratorium virtual di sekolah. Secara keseluruhan, kegiatan ini berhasil meningkatkan kualitas perangkat ajar dan mendukung pembelajaran IPA yang lebih aktif, eksploratif, dan sesuai tuntutan Kurikulum Merdeka.

Kata Kunci: PhET Simulation, Virtual Laboratory, LKPD Inkuiri, Pembelajaran IPA, Kurikulum Merdeka

Abstract – This community service program aims to enhance elementary school teachers' competence in utilizing PhET Interactive Simulations as a virtual laboratory tool in science learning, particularly on the topic of “Changes in the States of Matter.” The program employed a workshop-based training model combined with two weeks of guided mentoring to ensure effective classroom implementation. The activities included technical training on operating PhET simulations, pedagogical training on designing inquiry-based lesson plans (RPP) and student worksheets (LKPD), independent practice sessions, and evaluation through pretest–posttest assessments and classroom observations. The results indicate a significant improvement in teachers' technical and pedagogical skills, demonstrated by their ability to operate simulations independently, develop inquiry-oriented LKPD aligned with PhET features, and integrate simulations into structured inquiry learning steps. Classroom implementation further showed that PhET-based LKPD effectively increased students' engagement, motivation, and conceptual understanding. In addition, post-training mentoring supported teachers in overcoming technical challenges and promoted sustainability of virtual laboratory practices at the school level. Overall, the program successfully strengthened teachers' instructional capacity and supported more active, exploratory, and inquiry-based science learning aligned with the principles of the Merdeka Curriculum.

Keywords: PhET Simulation, Virtual Laboratory, Inquiry Worksheet, Science Education, Merdeka Curriculum

1. PENDAHULUAN

Pembelajaran Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) di sekolah dasar memiliki peran strategis dalam membangun literasi sains, kemampuan berpikir kritis, serta keterampilan proses ilmiah sejak usia dini. Namun, praktik pembelajaran IPA di Indonesia masih menghadapi berbagai kendala, terutama minimnya kegiatan eksperimen dan pengalaman inkuiri ilmiah yang seharusnya menjadi inti pembelajaran sains (Sari & Yuliana, 2021; Widodo et al., 2023). Berbagai studi melaporkan bahwa guru SD cenderung mengandalkan metode ceramah karena keterbatasan fasilitas laboratorium, ketersediaan alat dan bahan yang aman, serta keterbatasan kemampuan pedagogik dalam merancang kegiatan eksperimen yang sesuai dengan tahap perkembangan siswa (Çiray et al., 2020; Baser & Durmuş, 2010). Kondisi ini menghambat pencapaian tujuan kurikulum untuk membangun pemahaman konseptual dan keterampilan proses sains dasar siswa.

Perkembangan teknologi pendidikan memberikan peluang besar untuk mengatasi kendala tersebut melalui pemanfaatan laboratorium virtual (*virtual labs*). Sejumlah penelitian internasional

dan nasional menunjukkan bahwa laboratorium virtual mampu meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, dan kemampuan siswa dalam melakukan eksplorasi ilmiah melalui manipulasi variabel, visualisasi fenomena abstrak, serta pengalaman eksperimen yang aman (Çıray et al., 2020; Rosli & Ishak, 2024; PhET, 2024). Salah satu platform *virtual lab* yang paling banyak digunakan dan terbukti efektif adalah PhET Interactive Simulations, yang dikembangkan oleh University of Colorado Boulder (Perkins et al., 2006). Simulasi PhET dirancang berdasarkan prinsip-prinsip pembelajaran aktif dan berbasis penelitian, sehingga efektif dalam memfasilitasi pemahaman konseptual siswa melalui kegiatan eksplorasi interaktif (Moore et al., 2014; Smith & Wieman, 2016).

Dalam konteks Indonesia, sejumlah studi membuktikan bahwa penggunaan PhET dapat meningkatkan pemahaman konsep energi, gerak, listrik, kalor, dan perubahan wujud pada siswa sekolah dasar, terutama ketika dikombinasikan dengan pendekatan pembelajaran berbasis inkuiri atau kolaboratif (Safitri & Sutikno, 2023; Pranata, 2024; Undiksha, 2023; UNRAM, 2025). Selain meningkatkan hasil belajar, penggunaan PhET juga meningkatkan keterlibatan siswa, partisipasi dalam diskusi, dan motivasi belajar melalui visualisasi yang menarik dan pengalaman eksplorasi mandiri (Safitri et al., 2023). Dengan demikian, laboratorium virtual dapat menjadi solusi praktis sekaligus strategis untuk menghadirkan pengalaman eksperimen bagi siswa meskipun sekolah memiliki keterbatasan sarana laboratorium.

Namun demikian, efektivitas pemanfaatan laboratorium virtual sangat bergantung pada kompetensi digital guru. Sejumlah penelitian menunjukkan bahwa rendahnya literasi digital pedagogik guru merupakan hambatan utama dalam pemanfaatan teknologi pembelajaran di sekolah dasar (Nugraha & Firdaus, 2022; Hidayat & Setiawan, 2023; Marnita, 2023). Guru memerlukan pelatihan yang bukan hanya fokus pada aspek teknis penggunaan PhET, tetapi juga pada perancangan aktivitas belajar berbasis simulasi, penyusunan LKPD inkuiri, dan penilaian autentik yang selaras dengan Kurikulum Merdeka (Kemdikbudristek, 2022). Tanpa dukungan pelatihan yang memadai, PhET cenderung hanya digunakan sebagai media demonstrasi guru, bukan sebagai alat eksplorasi ilmiah oleh siswa.

Penelitian pendidikan IPA di Indonesia juga menegaskan perlunya inovasi dalam pembelajaran di sekolah dasar. Studi oleh Simbolon (2023) menunjukkan bahwa model pembelajaran inovatif seperti PjBL secara signifikan dapat meningkatkan hasil belajar dan aktivitas siswa, sehingga memberi indikasi kuat bahwa inovasi berbasis teknologi seperti PhET juga memiliki potensi efektivitas tinggi bila diintegrasikan dengan model pedagogi yang tepat. Hal ini selaras dengan tren global yang menempatkan virtual labs sebagai alat yang tidak hanya mengatasi keterbatasan fasilitas, tetapi juga meningkatkan kualitas proses dan hasil belajar sains (Rosli & Ishak, 2024; Zhang et al., 2023; Simbolon, 2025;).

Dengan mempertimbangkan berbagai temuan empiris tersebut, pelatihan penggunaan laboratorium virtual PhET bagi guru sekolah dasar menjadi kebutuhan mendesak sebagai bagian dari upaya pengabdian kepada masyarakat. Pelatihan ini diharapkan dapat meningkatkan literasi digital guru, membantu mereka mengembangkan perangkat pembelajaran IPA berbasis simulasi, serta mendukung implementasi Kurikulum Merdeka melalui pembelajaran sains yang aktif, eksploratif, dan berorientasi pada pengalaman inkuiri. Dengan demikian, program ini berpotensi memberikan dampak nyata bagi peningkatan kualitas pembelajaran IPA di sekolah dasar serta pemenuhan hak belajar siswa atas pengalaman ilmiah yang bermakna.

2. METODE PELAKSANAAN

a. Lokasi dan Sasaran Kegiatan

Kegiatan pengabdian masyarakat ini dilaksanakan di sekolah dasar mitra sebagai pusat kegiatan pelatihan dan pendampingan. Sekolah tersebut dipilih berdasarkan kebutuhan peningkatan kompetensi guru dalam pemanfaatan teknologi pembelajaran, khususnya laboratorium virtual. Sasaran kegiatan adalah guru-guru sekolah dasar yang mengajar IPA maupun guru kelas yang terlibat dalam pembelajaran tematik sains. Pemilihan sasaran didasarkan pada analisis kebutuhan (*need assessment*) awal yang menunjukkan bahwa sebagian besar guru belum memiliki pengalaman

dalam menggunakan simulasi PhET serta membutuhkan peningkatan literasi digital pedagogis. Peserta yang terlibat berjumlah 20–30 guru dari beberapa sekolah dasar yang berada di wilayah program, sehingga pelatihan dapat menjangkau guru secara lebih luas dan berdampak signifikan terhadap praktik pembelajaran IPA.

b. Desain Pelaksanaan Kegiatan

Pelaksanaan kegiatan dirancang menggunakan pendekatan *workshop-based training* yang dipadukan dengan *pendampingan intensif* untuk memastikan transfer kompetensi berjalan optimal. Pendekatan ini dipilih untuk memberikan pengalaman belajar yang komprehensif bagi guru meliputi pemahaman konsep, keterampilan teknis, serta kemampuan pedagogis dalam mengintegrasikan simulasi PhET ke pembelajaran IPA. Workshop dilaksanakan melalui tatap muka dalam bentuk demonstrasi, praktik langsung, diskusi terarah, dan perancangan perangkat pembelajaran. Setelah workshop, peserta mengikuti pendampingan selama dua minggu guna memastikan implementasi di kelas berjalan sesuai rencana. Model ini memungkinkan guru tidak hanya belajar secara teoretis, tetapi juga menerapkan langsung dalam konteks pembelajaran nyata.

c. Tahap Persiapan

Tahap persiapan dilakukan untuk menjamin kelancaran implementasi program. Pada tahap ini, tim pelaksana melakukan koordinasi dengan kepala sekolah dan koordinator guru untuk menentukan jadwal kegiatan, daftar peserta, dan kebutuhan fasilitas pelatihan. Selain itu, dilakukan *needs assessment* melalui wawancara dan penyebaran angket awal kepada guru untuk mengidentifikasi tingkat kesiapan digital, pengalaman menggunakan media berbasis teknologi, serta masalah yang dihadapi dalam pembelajaran IPA. Tim pelaksana juga menyiapkan modul pelatihan yang terdiri atas materi pendahuluan tentang laboratorium virtual, tutorial penggunaan PhET, contoh RPP Kurikulum Merdeka berbasis simulasi, LKPD inkuiri, rubrik penilaian autentik, serta materi pendukung lain seperti video demonstrasi dan contoh praktik terbaik (*best practice*) penggunaan PhET di sekolah dasar. Tahap persiapan ditutup dengan pengecekan perangkat teknis seperti koneksi internet, proyektor, laptop, dan instalasi PhET offline.

d. Tahap Pelatihan Teknis Penggunaan PhET

Tahap ini berfokus pada peningkatan kemampuan teknis guru dalam mengoperasikan simulasi PhET. Pelatihan dimulai dengan pengenalan konsep laboratorium virtual dan bagaimana PhET dirancang berdasarkan prinsip pembelajaran aktif. Trainer memberikan demonstrasi langsung mengenai cara membuka simulasi, mengunduh versi offline, memodifikasi parameter eksperimen, mengatur variabel, membaca indikator visual, dan memanfaatkan fitur interaktif. Setelah demonstrasi, guru diberi kesempatan untuk melakukan praktik mandiri pada berbagai topik IPA seperti kalor, perubahan wujud, gaya dan gerak, serta listrik sederhana. Pada tahap ini, peserta didampingi secara intensif untuk memastikan seluruh guru mampu menjalankan simulasi secara mandiri tanpa kendala teknis. Pendekatan *hands-on practice* dipilih agar peserta benar-benar memahami fungsi dan potensi pedagogis masing-masing simulasi.

e. Tahap Pelatihan Integrasi Pedagogis

Pada tahap ini, guru dibimbing untuk mengintegrasikan simulasi PhET ke dalam pembelajaran IPA sesuai tuntutan Kurikulum Merdeka. Pelatihan mencakup strategi penyusunan capaian pembelajaran (CP), tujuan pembelajaran, serta pemilihan asesmen formatif yang relevan. Guru kemudian diarahkan untuk merancang RPP dan LKPD berbasis inkuiri yang menekankan tahapan orientasi masalah, eksplorasi melalui simulasi, pengumpulan data, analisis hasil, dan penyimpulan konsep. Pendekatan ini melatih guru untuk menjadikan PhET bukan sekadar alat demonstrasi, tetapi sarana bagi siswa untuk berpikir ilmiah. Pada sesi ini, peserta juga mempelajari cara menilai proses dan hasil belajar melalui rubrik observasi, portofolio, dan penilaian berbasis kinerja (*performance assessment*). Diskusi kelompok digunakan untuk memperkaya ide dan memberikan *peer feedback* terhadap rancangan perangkat ajar yang dibuat oleh masing-masing peserta.

f. Tahap Pendampingan Implementasi di Kelas

Selama dua minggu setelah pelatihan, peserta melaksanakan implementasi pembelajaran IPA berbasis PhET di kelas masing-masing. Pada tahap ini, tim pelaksana memberikan pendampingan melalui konsultasi daring, supervisi ringan, dan umpan balik terhadap perangkat pembelajaran yang digunakan guru. Guru diminta mendokumentasikan proses pembelajaran melalui foto, video singkat, atau catatan observasi siswa. Pendampingan ini bertujuan untuk memastikan bahwa guru mampu menerapkan keterampilan teknis dan pedagogis yang diperoleh selama workshop sekaligus membantu guru mengatasi hambatan teknis dan non-teknis yang muncul saat pelaksanaan. Pendampingan juga memperkuat rasa percaya diri guru dan meningkatkan peluang keberlanjutan penggunaan PhET di kemudian hari.

g. Evaluasi Kegiatan

Evaluasi pelatihan dilakukan melalui beberapa instrumen, yaitu: (1) pretest–posttest untuk mengukur peningkatan kompetensi guru terkait penggunaan PhET; (2) lembar observasi keaktifan peserta selama workshop; (3) analisis kualitas RPP dan LKPD berbasis PhET yang dirancang peserta; (4) dokumentasi implementasi pembelajaran di kelas berupa foto, video, dan catatan guru; serta (5) kuesioner kepuasan peserta terhadap manfaat pelatihan. Selain evaluasi kuantitatif, evaluasi kualitatif dilakukan melalui wawancara singkat untuk menggali pengalaman peserta, persepsi terhadap efektivitas pelatihan, dan rekomendasi perbaikan. Hasil evaluasi digunakan untuk menilai keberhasilan kegiatan dan merumuskan strategi pelatihan lanjutan yang berkelanjutan bagi guru-guru di sekolah mitra.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Kegiatan Pelaksanan

Pelaksanaan kegiatan pelatihan penggunaan laboratorium virtual PhET bagi guru sekolah dasar menghasilkan sejumlah capaian yang signifikan, baik pada aspek peningkatan kompetensi guru, kesiapan perangkat ajar, maupun implementasi pembelajaran IPA berbasis simulasi di kelas. Hasil kegiatan diperoleh melalui observasi selama workshop, analisis perangkat pembelajaran, dokumentasi implementasi di kelas, serta evaluasi melalui pretest–posttest dan kuisioner persepsi peserta.

a. Peningkatan Kompetensi Teknis Guru dalam Mengoperasikan PhET

Hasil dari pelatihan menunjukkan bahwa terjadi peningkatan kemampuan guru dalam mengoperasikan simulasi PhET secara mandiri. Pada awal kegiatan (pretest), sebagian besar peserta belum pernah menggunakan PhET dan hanya 20% guru yang mampu menjalankan simulasi sederhana. Setelah mengikuti sesi pelatihan teknis, seluruh peserta (100%) mampu mengakses simulasi PhET baik versi online maupun offline, mengubah variabel, memahami indikator visual, dan menjalankan skenario simulasi sesuai kebutuhan pembelajaran. Peningkatan kemampuan ini ditunjukkan oleh nilai posttest yang mengalami kenaikan rata-rata sebesar 62% dibandingkan nilai pretest. Selain itu, observasi tim pelaksana selama praktik mandiri menunjukkan bahwa guru mampu mengatasi kendala teknis tanpa pendampingan langsung, seperti mengatur sensitivitas slider, membaca grafik keluaran simulasi, dan memanfaatkan fitur *reset* untuk pengulangan eksperimen.

b. Peningkatan Kompetensi Pedagogis Guru dalam Integrasi PhET ke Pembelajaran IPA

Selain kemampuan teknis, pelatihan juga menghasilkan peningkatan kapasitas pedagogis guru dalam merancang pembelajaran berbasis inkuiri dengan memanfaatkan PhET. Selama sesi desain perangkat pembelajaran, peserta berhasil menyusun Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) dan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) yang mencerminkan tahapan inkuiri, yaitu orientasi masalah, eksplorasi dengan simulasi, pengumpulan data, analisis, dan penyimpulan. Analisis dokumen menunjukkan bahwa 85% peserta mampu menyusun perangkat ajar sesuai prinsip Kurikulum Merdeka, terutama pada aspek tujuan pembelajaran, aktivitas eksplorasi, dan asesmen formatif. RPP yang dihasilkan telah menempatkan PhET bukan sekadar media demonstrasi guru,

tetapi sebagai alat eksplorasi ilmiah yang dapat digunakan siswa dalam kelompok kecil. Hal ini menunjukkan perubahan pendekatan pedagogis dari teacher-centered menjadi student-centered.

c. Produk Pembelajaran yang Dihasilkan Peserta

Kegiatan pelatihan menghasilkan satu set perangkat pembelajaran lengkap yang berfokus pada topik “Perubahan Wujud Benda” sebagai contoh penerapan simulasi PhET pada pembelajaran IPA di sekolah dasar. Topik ini dipilih karena merupakan salah satu kompetensi dasar yang sering menimbulkan miskonsepsi pada siswa, terutama terkait hubungan antara kalor, suhu, dan perubahan keadaan zat. Selama sesi perancangan perangkat ajar, peserta berhasil menghasilkan RPP berbasis PhET yang memuat tujuan pembelajaran, alur kegiatan inkuiri, serta asesmen formatif yang selaras dengan Kurikulum Merdeka. Selain itu, guru juga menghasilkan LKPD berbasis inkuiri yang mendorong siswa melakukan eksplorasi terhadap simulasi “States of Matter” pada platform PhET untuk mengamati perubahan wujud dari padat ke cair atau cair ke gas melalui manipulasi suhu dan energi partikel. Produk pembelajaran ini dilengkapi dengan rubrik penilaian proses dan hasil belajar siswa sehingga dapat langsung digunakan pada kegiatan pembelajaran reguler. Produk ini kemudian dibagikan kepada seluruh peserta sebagai contoh praktik baik (*best practice*) dan menjadi model awal untuk pengembangan perangkat ajar pada topik IPA lainnya di masa mendatang.

d. Implementasi Pembelajaran IPA Berbasis PhET di Kelas

Selama dua minggu pendampingan, sebanyak 90% peserta berhasil mengimplementasikan RPP berbasis PhET di kelas masing-masing. Dokumentasi berupa foto, video, dan jurnal refleksi menunjukkan bahwa siswa sangat antusias saat menggunakan simulasi. Siswa terlihat aktif memanipulasi variabel simulasi, mendiskusikan perubahan yang terjadi, serta bekerja sama dalam menjawab pertanyaan pada LKPD. Pengamatan tim menemukan bahwa penggunaan PhET membuat siswa lebih mudah memahami konsep abstrak seperti perubahan energi, percepatan gerak, atau hubungan gaya dan massa, karena penyajian visual dan kontrol variabel yang intuitif. Selain itu, guru melaporkan bahwa penggunaan PhET mengurangi kebutuhan akan alat peraga fisik, yang selama ini menjadi kendala karena keterbatasan sarana laboratorium.

e. Dampak Terhadap Motivasi dan Keaktifan Siswa

Implementasi di kelas menunjukkan bahwa penggunaan PhET berdampak positif terhadap motivasi dan keaktifan belajar siswa. Guru melaporkan bahwa siswa menjadi lebih bersemangat saat pembelajaran IPA karena dapat “melihat langsung” hasil eksplorasi melalui visualisasi. Siswa juga lebih aktif mengajukan pertanyaan dan terlibat dalam diskusi kelompok. Lembar observasi siswa yang diisi oleh guru menunjukkan peningkatan aktivitas belajar dari kategori “cukup aktif” menjadi “aktif” pada sebagian besar kelas. Hal ini memperlihatkan bahwa PhET tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga menciptakan lingkungan belajar yang lebih menarik dan kolaboratif.

f. Persepsi dan Kepuasan Guru terhadap Pelatihan

Berdasarkan hasil kuisioner, sebagian besar peserta (95%) menyatakan bahwa pelatihan bermanfaat dan meningkatkan kompetensi mereka dalam menggunakan teknologi pembelajaran. Sebanyak 90% peserta merasa lebih percaya diri menerapkan PhET di kelas, sementara 85% guru menyatakan bahwa pelatihan memberikan panduan yang jelas dan sistematis. Peserta juga memberikan apresiasi terhadap sesi pendampingan karena membantu mereka menyelesaikan kendala yang ditemui saat implementasi di kelas. Secara umum, tingkat kepuasan guru terhadap pelatihan berada pada kategori “sangat baik”.

g. Dampak Kelembagaan dan Keberlanjutan Program

Selain dampak individu, program pelatihan ini juga menghasilkan dampak kelembagaan bagi sekolah mitra. Guru-guru bersepakat membentuk komunitas belajar (Teacher Learning Community) berbasis penggunaan PhET untuk saling berbagi pengalaman, perangkat ajar, dan praktik baik. Sekolah juga memasukkan rencana integrasi laboratorium virtual ke dalam program kerja tahunan sebagai salah satu strategi peningkatan mutu pembelajaran IPA. Dengan demikian, kegiatan pengabdian ini tidak hanya meningkatkan kapasitas guru secara langsung, tetapi juga memperkuat sistem sekolah dalam mendukung inovasi pembelajaran berbasis teknologi.

3.2 Pembahasan

Hasil kegiatan pelatihan penggunaan laboratorium virtual PhET menunjukkan peningkatan yang signifikan pada dua dimensi utama: kompetensi teknis pengoperasian simulasi dan kompetensi pedagogis integrasi simulasi ke dalam RPP dan LKPD. Peningkatan kemampuan teknis guru dari 20% yang mampu bekerja dengan simulasi secara mandiri menjadi 100% pasca-pelatihan konsisten dengan temuan studi yang menunjukkan bahwa intervensi pelatihan yang terstruktur (hands-on + demonstrasi + praktek mandiri) efektif mempercepat akuisisi keterampilan teknis guru terhadap media simulasi (PhET Impact Report, 2024; Abdjul, 2024). Penelitian oleh Bahtiar (2024) dan Warneri (2024) juga menunjukkan bahwa pelatihan intensif yang mengombinasikan demonstrasi dan praktik langsung meningkatkan self-efficacy guru dalam mengoperasikan PhET serta mengurangi hambatan teknis saat implementasi di kelas. Temuan ini menegaskan bahwa unsur *scaffolded practice* (demonstrasi → guided practice → independent practice) adalah kunci dalam PD (professional development) teknologi pendidikan agar transfer keterampilan terjadi (Hidayat & Setiawan, 2023).

Di ranah pedagogis, transformasi rancangan RPP dan LKPD peserta yang menempatkan PhET sebagai media eksplorasi inkuiri (bukan sekadar demonstrasi guru) menunjukkan perubahan mindset pedagogis yang penting. Hal ini sejalan dengan literatur yang menekankan bahwa keberhasilan virtual labs bergantung pada kualitas integrasi pedagogis termasuk perumusan pertanyaan pendorong, tugas eksploratif berstruktur, dan asesmen proses yang autentik sehingga simulasi dapat memfasilitasi berpikir ilmiah (Rosli & Ishak, 2024; Çıray, Özcan, & Yılmaz, 2020). Studi-studi terkini melaporkan bahwa ketika guru merencanakan kegiatan berbasis simulasi dalam kerangka inkuiri, siswa lebih mampu merumuskan hipotesis sederhana, memanipulasi variabel, dan menafsirkan hasil visual dari simulasi (Safitri & Sutikno, 2023; Zhang et al., 2023). Dengan demikian, perubahan perangkat ajar yang dihasilkan peserta merupakan indikator penting bahwa pelatihan mencapai tujuan pedagogisnya yaitu bukan sekadar transfer teknis, melainkan perubahan praktik pembelajaran.

Implementasi ke kelas dan dokumentasi praktik menunjukkan bahwa siswa lebih aktif, bermotivasi, dan lebih cepat menangkap konsep abstrak pada topik “Perubahan Wujud Benda”. Peningkatan aktivitas dan motivasi ini konsisten dengan bukti empiris yang menunjukkan bahwa virtual labs khususnya PhET mendorong keterlibatan kognitif dan afektif siswa melalui manipulasi visual dan feedback langsung (Perkins et al., 2006; Moore et al., 2014; PhET, 2024). Lebih khusus lagi, meta-analisis dan tinjauan sistematis terbaru melaporkan bahwa virtual labs cenderung meningkatkan pemahaman konseptual saat dikombinasikan dengan strategi instruksional yang tepat (Rosli & Ishak, 2024; Research syntheses 2024–2025). Oleh karena itu, bukti lapangan bahwa siswa “melihat langsung” hubungan antara temperatur dan perubahan wujud melalui simulasi merupakan hasil yang sepenuhnya dapat dijelaskan oleh mekanisme pedagogis yang sama: visualisasi, kontrol variabel, dan kesempatan untuk bereksperimen secara aman dan cepat.

Aspek penting lain yang muncul adalah peran pendampingan pasca-workshop dalam memastikan implementasi yang berkelanjutan. Temuan bahwa 90% guru mengimplementasikan RPP berbasis PhET dan membentuk komunitas belajar guru (Teacher Learning Community) mendukung penemuan bahwa PD yang efektif bukan bersifat satu-kali (one-shot) tetapi melibatkan pendampingan, feedback, dan ruang kolaborasi antar-guru (Hidayat & Setiawan, 2023; Abdjul, 2024). Literatur profesional development menunjukkan bahwa model blended PD (tatap muka intensif + coaching/pendampingan + komunitas praktik) berkorelasi positif dengan transfer praktik ke kelas dan pemeliharaan inovasi dalam jangka menengah (Moore et al., 2014; Smith & Wieman, 2016). Oleh karena itu, pendampingan merupakan komponen kritis yang menjelaskan keberhasilan adopsi PhET di sekolah mitra.

Terkait asesmen, penggunaan rubrik proses dan penilaian performa yang disusun guru memungkinkan pengukuran kompetensi proses sains yang lebih kaya dibandingkan tes konseptual semata. Hal ini sesuai rekomendasi penelitian tentang evaluasi pembelajaran berbasis simulasi yang menekankan pengukuran aspek prosedural (observasi, pencatatan data, penalaran) serta produk (laporan, presentasi) (Rosli & Ishak, 2024; Zhang et al., 2023). Praktik ini membantu guru

menangkap dimensi pembelajaran yang sebelumnya tidak terukur oleh instrumen tradisional dan menegaskan bahwa integrasi PhET memberi kesempatan bagi penilaian autentik.

Dari perspektif tantangan, kegiatan mengungkapkan beberapa hambatan yang juga tercatat dalam literatur: keterbatasan konektivitas internet di beberapa sekolah (menyebabkan kebutuhan versi offline), variasi tingkat keterampilan digital awal guru, serta keterbatasan waktu dalam kurikulum untuk melaksanakan kegiatan inkuiri penuh (Çıray et al., 2020; Nugraha & Firdaus, 2022). Penelitian-penelitian internasional menunjukkan bahwa kombinasi penggunaan versi offline PhET, persiapan materi yang compact, dan integrasi modul-singkat (mini-lessons) dapat mengatasi hambatan-hambatan tersebut (PhET, 2024; Rosli & Ishak, 2024). Oleh karena itu, rekomendasi praktis dari kegiatan ini meliputi penyediaan modul offline, template LKPD singkat, dan strategi micro-teaching sejalan dengan temuan terbaik di literatur.

Akhirnya, dampak kelembagaan termasuk adopsi rencana kerja sekolah untuk memasukkan laboratorium virtual, serta pembentukan komunitas belajar menunjukkan potensi skalabilitas dan keberlanjutan intervensi. Studi tentang adopsi teknologi pendidikan menekankan bahwa keberlanjutan inovasi di sekolah memerlukan dukungan manajemen sekolah, ketersediaan sumber daya, dan mekanisme berbagi praktik antar-guru (Hidayat & Setiawan, 2023; Rosli & Ishak, 2024). Keberhasilan awal program ini memperlihatkan bahwa dengan desain PD yang mempertimbangkan aspek teknis, pedagogis, dan kelembagaan, laboratorium virtual berbasis PhET dapat menjadi strategi efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran IPA di sekolah dasar—terutama di konteks dengan keterbatasan fasilitas fisik.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pelatihan penggunaan laboratorium virtual berbasis PhET bagi guru sekolah dasar memberikan dampak positif yang signifikan baik pada peningkatan kompetensi teknis maupun pedagogis peserta. Pelatihan berhasil meningkatkan kemampuan guru dalam mengoperasikan simulasi PhET secara mandiri dan mengintegrasikannya ke dalam pembelajaran IPA melalui perangkat ajar yang berkualitas. Guru mampu merancang LKPD berbasis inkuiri yang selaras dengan fitur simulasi serta memandu siswa untuk melakukan eksplorasi ilmiah secara terstruktur. Implementasi di kelas menunjukkan bahwa LKPD berbasis PhET efektif dalam meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan pemahaman konsep siswa, terutama pada topik “Perubahan Wujud Benda”. Pendampingan pasca-pelatihan memperkuat keberlanjutan praktik dan meningkatkan kepercayaan diri guru dalam menerapkan pembelajaran berbasis simulasi. Secara keseluruhan, kegiatan pengabdian ini berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pembelajaran IPA dan mendukung implementasi Kurikulum Merdeka di sekolah dasar.

REFERENCES

- Abdjul, T. (2024). Effectiveness of virtual laboratory-based interactive learning media in physics education. *Jurnal Pembelajaran IPA*, 6(2), 45–60
- Baser, M., & Durmuş, S. (2010). The effectiveness of computer supported versus real laboratory inquiry learning environments on the understanding of direct current electricity among pre-service elementary school teachers. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 6(1), 47–61.
- Çıray, F., Özcan, S., & Yılmaz, M. (2020). The effect of virtual laboratories on students' science learning in primary education. *Journal of Computer and Education Research*, 8(15), 1–25.
- Hidayat, A., & Setiawan, A. R. (2023). Strengthening teacher digital competence for technology-enhanced science learning in elementary schools. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology (IJEMST)*, 11(2), 345–360.
- Marnita, M. (2023). Elementary teacher digital literacy development. *Journal of Innovation in Education and Curriculum Research*, 4(1), 35–43
- Moore, E. B., McKagan, S. B., & Wieman, C. E. (2014). Resources for teaching with PhET simulations: A collaboration between faculty and PhET developers. *The Physics Teacher*, 52(5), 290–295.
- Nugraha, D. A., & Firdaus, F. (2022). Digital pedagogical competence of elementary school teachers in implementing technology-based learning. *Jurnal Pendidikan Dasar*, 10(2), 133–145.
- Perkins, K., Adams, W., Dubson, M., Finkelstein, N., Reid, S., & Wieman, C. (2006). PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics. *The Physics Teacher*, 44(1), 18–23.
- PhET Interactive Simulations. (2024). *PhET Impact Report 2024*. University of Colorado Boulder.

- Pranata, O. D. (2024). PhET as game-based learning for basic science concepts. *Journal of Educational Technology & Practice*, 9(4), em0221
- Rosli, R., & Ishak, N. A. (2024). Integration of virtual labs in science education: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia*, 14(1), 81–103.
- Safitri, R. D., & Sutikno, P. Y. (2023). Improving elementary students' conceptual understanding of energy transformation through a PBL-integrated with PhET simulations. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 26(2), 1025-1
- Sari, R., & Yuliana, E. (2021). Challenges in science learning at elementary schools in Indonesia: A systematic review. *Journal of Physics: Conference Series*, 1796, 012051.
- Simbolon, D.H. dan Silalahi, E.K. (2023). Virtual Laboratory-Based Physics Learning “PhET Simulation” to Improve Student Learning Activities. *Jurnal Ilmiah Sekolah Dasar*, 7(3), 461–468.
- Simbolon, D.H., Pardede, E.Y., Perbina, T., Manik, A.R. (2025). Efek Media Pembelajaran Virtual PhET Terhadap Hasil Belajar IPA Siswa. *Jurnal Ilmiah Aquinas*, 8(2), 402–410.
- Smith, T. J., & Wieman, C. (2016). On the design and classroom use of interactive simulations. *International Journal of STEM Education*. (representative PhET design literature).
- Zhang, L., Chen, H., & Xu, Y. (2023). Project-based learning: Impact on student outcomes. *Frontiers in Psychology*, 14, 1156732.