

PENINGKATAN KUALITAS PEMBELAJARAN MELALUI OPTIMALISASI LABORATORIUM VIRTUAL UNTUK MENDUKUNG PENDIDIKAN ADAPTIF DAN BERKELANJUTAN DI SEKOLAH DASAR

Rosmiati^{1*}, Amelia Widya Hanindita², Zukhruf Annisa Zalzabila³, Dionisius Ronaldino Fernandes Dugis⁴

^{1,2,3,4}PGSD, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, Surabaya, Indonesia

*Email: rosmiati@unipasby.ac.id

Informasi Artikel	Abstrak
Kata kunci: laboratorium virtual, pembelajaran IPA, sekolah dasar, kompetensi guru, pendidikan adaptif, Participatory Action Research	Transformasi pendidikan di era digital menuntut guru sekolah dasar mampu mengintegrasikan teknologi dalam pembelajaran IPA. Namun, keterbatasan fasilitas laboratorium, minimnya pengalaman menggunakan laboratorium virtual, serta kompetensi guru yang belum optimal masih menjadi kendala dalam pelaksanaan pembelajaran berbasis praktikum. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan meningkatkan kompetensi guru sekolah dasar dalam mengoptimalkan laboratorium virtual guna mendukung pembelajaran yang adaptif dan berkelanjutan. Kegiatan diselenggarakan oleh Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar Universitas PGRI Adi Buana Surabaya bekerja sama dengan PGRI Kecamatan Gondang, Kabupaten Mojokerto, pada 13–19 Juni 2026 dengan melibatkan 35 guru sekolah dasar. Metode yang digunakan adalah Participatory Action Research (PAR) yang meliputi analisis kebutuhan, pelatihan, pendampingan penyusunan perangkat pembelajaran, implementasi, serta monitoring dan evaluasi. Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa 94,3% guru siap mengimplementasikan laboratorium virtual, 91,4% membutuhkan pendampingan, 88,6% memerlukan pelatihan, dan 77,1% belum pernah menggunakan laboratorium virtual. Evaluasi program menunjukkan peningkatan rata-rata pemahaman guru dari 61,8 pada pretest menjadi 87,6 pada posttest atau meningkat sebesar 25,8 poin. Selain itu, 91,4% guru mampu mengoperasikan laboratorium virtual secara mandiri, 94,3% berhasil menyusun modul ajar sesuai Kurikulum Merdeka, dan 88,6% mengintegrasikan laboratorium virtual ke dalam pembelajaran. Implementasi di sekolah meningkatkan partisipasi aktif peserta didik serta kemampuan guru dalam mengelola pembelajaran berbasis teknologi. Program ini efektif meningkatkan kompetensi profesional guru dan memperkuat kualitas pembelajaran IPA menuju pendidikan dasar yang adaptif, inovatif, dan berkelanjutan
Diterima: 12-07-2026 Disetujui: 25-07-2026 Dipublikasikan: 30-07-2026	
Keywords: virtual laboratory, science learning, elementary school, teacher competence, adaptive education, Participatory Action Research (PAR)	Abstact Educational transformation in the digital era requires elementary school teachers to integrate technology effectively into science instruction. However, limited laboratory facilities, insufficient experience in using virtual laboratories, and suboptimal teacher competencies remain significant challenges in implementing

inquiry- and practicum-based learning. This community service program aimed to enhance elementary school teachers' competencies in optimizing virtual laboratories to support adaptive and sustainable science learning. The program was organized by the Elementary School Teacher Education Study Program, Universitas PGRI Adi Buana Surabaya, in collaboration with the Indonesian Teachers Association (PGRI) of Gondang District, Mojokerto Regency, from 13 to 19 June 2026, involving 35 elementary school teachers. The program employed a Participatory Action Research (PAR) approach consisting of five stages: needs analysis, training, mentoring in instructional material development, implementation, monitoring, and evaluation. The needs analysis revealed that 94.3% of teachers were ready to implement virtual laboratories, 91.4% required mentoring, 88.6% needed training, and 77.1% had never used virtual laboratories. Program evaluation demonstrated a significant improvement in teachers' understanding, with the average score increasing from 61.8 in the pre-test to 87.6 in the post-test, representing a 25.8-point gain. Furthermore, 91.4% of teachers were able to operate virtual laboratory platforms independently, 94.3% successfully developed teaching modules aligned with the *Merdeka Curriculum*, and 88.6% effectively integrated virtual laboratories into classroom instruction. Classroom implementation also increased students' active participation and strengthened teachers' ability to facilitate technology-enhanced learning. Overall, the program effectively improved teachers' professional competencies, enhanced the quality of science education, and supported the development of adaptive, innovative, and sustainable elementary education.

PENDAHULUAN

Transformasi pendidikan pada era digital menuntut sekolah dasar untuk mengembangkan proses pembelajaran yang adaptif, inovatif, dan berorientasi pada kebutuhan peserta didik abad ke-21 (Amran et al., 2019; Bircan, 2025; Novia et al., 2025). Perkembangan teknologi informasi telah menghadirkan berbagai sumber belajar digital yang mampu meningkatkan kualitas pembelajaran melalui penyajian materi yang lebih interaktif, kontekstual, dan mudah dipahami (M Satriawan et al., 2025). Salah satu bentuk inovasi tersebut adalah pemanfaatan laboratorium virtual (*virtual laboratory*), yang memungkinkan peserta didik melakukan kegiatan eksperimen secara digital tanpa dibatasi oleh ketersediaan ruang, waktu, maupun peralatan laboratorium fisik. Kehadiran laboratorium virtual menjadi alternatif yang relevan untuk mendukung pembelajaran sains di sekolah dasar, khususnya dalam mengembangkan keterampilan proses sains, kemampuan berpikir kritis, dan pemahaman konseptual siswa (R Rosmiati et al., 2026).

Meskipun demikian, implementasi pembelajaran berbasis laboratorium virtual di sekolah dasar masih menghadapi berbagai tantangan. Sebagian besar sekolah memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium IPA, baik dari aspek kelengkapan alat, bahan praktikum, maupun biaya pemeliharaan. Kondisi tersebut menyebabkan kegiatan praktikum sering kali tidak dapat dilaksanakan secara optimal sehingga pembelajaran IPA lebih banyak didominasi oleh penyampaian konsep secara teoritis. Akibatnya, peserta didik memiliki kesempatan yang terbatas untuk melakukan observasi, eksperimen, dan pembuktian ilmiah yang merupakan bagian penting dalam pembelajaran sains (Dodevska et al., 2025; Halimatul Mu, 2022; R Rosmiati et al., 2026).

Selain keterbatasan sarana prasarana, kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi digital ke dalam proses pembelajaran juga masih menjadi tantangan. Banyak guru sekolah dasar telah memanfaatkan perangkat digital untuk penyampaian materi, namun penggunaannya masih

2022). Pemanfaatan laboratorium virtual sebagai media eksplorasi ilmiah yang interaktif belum dilakukan secara optimal karena keterbatasan pengetahuan mengenai platform yang tersedia, strategi implementasi dalam pembelajaran, serta pengalaman dalam merancang aktivitas praktikum berbasis digital. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya program pendampingan yang tidak hanya mengenalkan teknologi laboratorium virtual, tetapi juga meningkatkan kemampuan guru dalam merancang pembelajaran yang bermakna melalui pemanfaatan teknologi tersebut (Application et al., 2022; Finkelstein, 2025; M Habibbulloh et al., 2024; Reginald, 2023; Muhammad Satriawan, Satianingsih, et al., 2026; Setiawan et al., 2018).

Optimalisasi laboratorium virtual merupakan salah satu strategi yang dapat menjawab berbagai tantangan tersebut. Berbagai platform laboratorium virtual menyediakan simulasi eksperimen yang memungkinkan peserta didik mengamati fenomena ilmiah, melakukan manipulasi variabel, menganalisis hasil percobaan, serta menarik kesimpulan secara mandiri. Penggunaan laboratorium virtual juga memberikan pengalaman belajar yang lebih aman, efisien, fleksibel, dan dapat diakses secara berulang sesuai kebutuhan belajar peserta didik. Dengan demikian, laboratorium virtual tidak dimaksudkan untuk menggantikan laboratorium nyata, melainkan menjadi pelengkap yang memperluas kesempatan belajar dan meningkatkan kualitas pengalaman praktikum, terutama pada sekolah yang memiliki keterbatasan fasilitas (M Habibbulloh et al., 2024).

Penerapan laboratorium virtual juga sejalan dengan arah kebijakan transformasi pendidikan di Indonesia yang menekankan pembelajaran berpusat pada peserta didik, pemanfaatan teknologi digital, serta penguatan kompetensi abad ke-21. Dalam implementasi Kurikulum Merdeka, guru didorong untuk menciptakan pengalaman belajar yang kontekstual, fleksibel, dan mendorong peserta didik melakukan eksplorasi secara aktif. Melalui laboratorium virtual, peserta didik tidak hanya memperoleh pemahaman konsep secara visual, tetapi juga mengembangkan kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi yang menjadi kompetensi penting dalam menghadapi tantangan masa depan.

Selain mendukung transformasi pembelajaran, optimalisasi laboratorium virtual juga memiliki kontribusi terhadap pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*), khususnya Tujuan 4 tentang Pendidikan Berkualitas (*Quality Education*) (Rosmiati et al., 2025; Satianingsih et al., 2024; M Satriawan et al., 2026; Muhammad Satriawan, Saputra, et al., 2026). Pemanfaatan teknologi digital mampu memperluas akses terhadap sumber belajar berkualitas, mengurangi kesenjangan fasilitas pendidikan antar sekolah, serta menciptakan pembelajaran yang lebih inklusif dan berkelanjutan. Dengan memanfaatkan laboratorium virtual, sekolah dasar dapat menyelenggarakan pembelajaran sains yang lebih efektif tanpa harus bergantung sepenuhnya pada ketersediaan laboratorium fisik yang sering kali memerlukan investasi biaya yang besar (Khoirunnisa, 2022; Maddipatla et al., 2025; Reginald, 2023; Muhammad Satriawan, Satianingsih, et al., 2026).

Berdasarkan hasil identifikasi kebutuhan pada sekolah mitra, ditemukan bahwa guru masih memerlukan peningkatan kompetensi dalam memilih platform laboratorium virtual yang sesuai, mengintegrasikan simulasi ke dalam modul ajar, menyusun lembar kerja peserta didik berbasis eksperimen digital, serta melaksanakan evaluasi pembelajaran berbasis aktivitas laboratorium virtual. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan antara potensi teknologi digital yang tersedia dengan kemampuan implementasinya di tingkat sekolah dasar. Oleh karena itu, diperlukan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang berfokus pada peningkatan kapasitas guru melalui pelatihan, pendampingan, praktik implementasi, dan evaluasi penggunaan laboratorium virtual dalam pembelajaran IPA. Program pengabdian ini dirancang untuk meningkatkan kompetensi guru sekolah dasar dalam memanfaatkan laboratorium virtual sebagai media pembelajaran yang inovatif, adaptif, dan berkelanjutan. Kegiatan tidak hanya berorientasi pada penguasaan penggunaan platform laboratorium virtual, tetapi juga pada kemampuan guru dalam merancang pembelajaran

berbasis praktikum digital yang sesuai dengan karakteristik peserta didik sekolah dasar. Melalui kegiatan ini diharapkan terjadi peningkatan kualitas pembelajaran IPA, meningkatnya kompetensi digital guru, serta terbentuknya budaya pembelajaran yang lebih adaptif terhadap perkembangan teknologi sehingga mampu mendukung peningkatan mutu pendidikan dasar secara berkelanjutan.

METODE

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini dilaksanakan menggunakan pendekatan Participatory Action Research (PAR) yang menekankan keterlibatan aktif mitra dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari identifikasi kebutuhan hingga evaluasi program (Erdoğan, 2020; Méndez-Espinoza et al., 2020). Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa solusi yang diberikan sesuai dengan kebutuhan guru sekolah dasar serta mampu meningkatkan kompetensi mereka dalam mengintegrasikan laboratorium virtual ke dalam proses pembelajaran. Pelaksanaan kegiatan mengombinasikan pelatihan, praktik langsung (*hands-on training*), pendampingan, implementasi pembelajaran, serta evaluasi secara berkelanjutan. Kegiatan diselenggarakan oleh Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar Universitas PGRI Adi Buana Surabaya bekerja sama dengan Persatuan Guru Republik Indonesia (PGRI) Kecamatan Gondang, Kabupaten Mojokerto. Kegiatan dilaksanakan di Hotel Papa Kana, Gondang, Kabupaten Mojokerto pada 13-19 Juni 2026 dengan melibatkan 35 guru sekolah dasar sebagai peserta.

Pelaksanaan kegiatan terdiri atas lima tahapan sebagai berikut.

1. Analisis Kebutuhan

Tahap awal dilakukan melalui diskusi dengan pengurus PGRI Kecamatan Gondang dan perwakilan guru untuk mengidentifikasi kondisi pembelajaran IPA di sekolah dasar, pemanfaatan media pembelajaran digital, serta kendala yang dihadapi dalam pelaksanaan kegiatan praktikum. Analisis kebutuhan juga dilakukan melalui penyebaran angket awal (*pre-survey*) guna memetakan tingkat literasi digital peserta, pengalaman menggunakan media pembelajaran berbasis teknologi, dan kebutuhan pengembangan kompetensi dalam pemanfaatan laboratorium virtual.

2. Pelatihan Optimalisasi Laboratorium Virtual

Tahap pelatihan bertujuan meningkatkan pengetahuan dan keterampilan guru dalam memanfaatkan laboratorium virtual sebagai media pembelajaran IPA. Materi yang diberikan meliputi konsep laboratorium virtual, pengenalan berbagai platform laboratorium virtual, strategi integrasi laboratorium virtual dalam pembelajaran berbasis Kurikulum Merdeka, penyusunan modul ajar dan lembar kerja peserta didik (LKPD), serta praktik penggunaan laboratorium virtual pada materi-materi IPA sekolah dasar. Proses pelatihan menggunakan metode ceramah interaktif, demonstrasi, diskusi kelompok, praktik langsung (*hands-on practice*), dan presentasi hasil praktik sehingga peserta memperoleh pengalaman belajar yang aplikatif.

3. Pendampingan Penyusunan Perangkat Pembelajaran

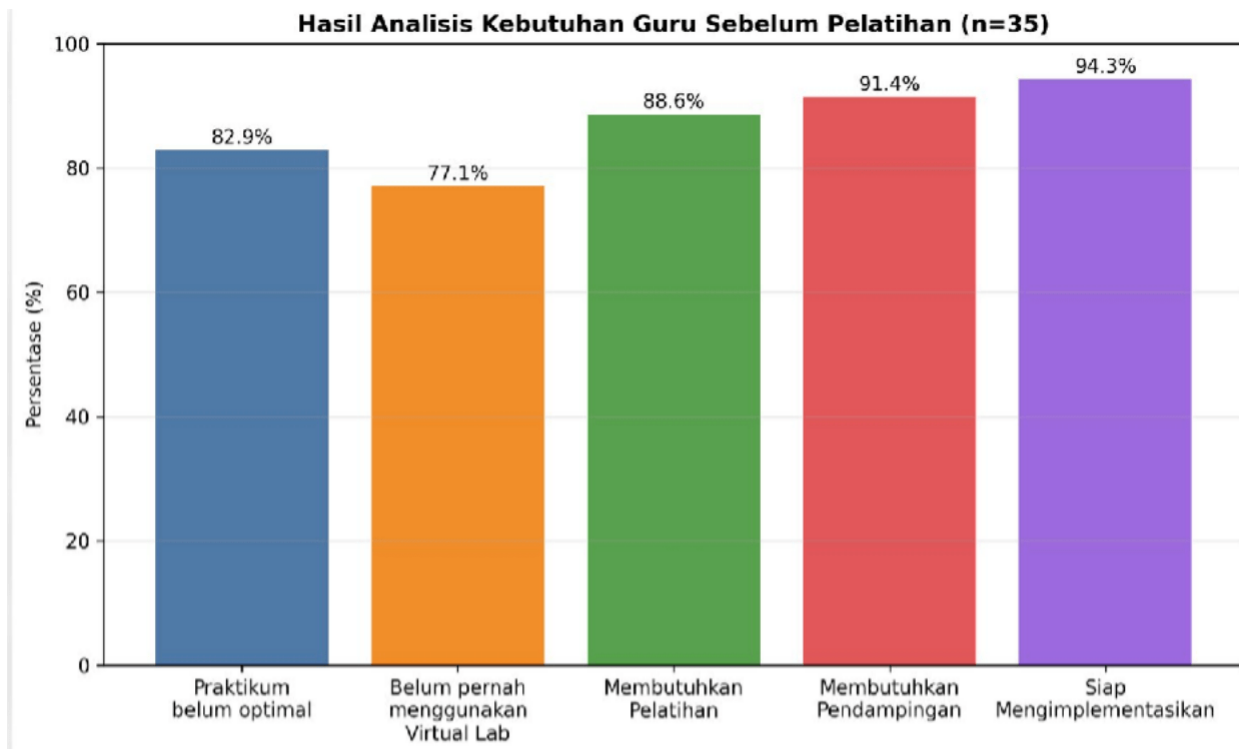
Setelah pelatihan, peserta didampingi dalam menyusun perangkat pembelajaran yang mengintegrasikan laboratorium virtual, meliputi modul ajar, LKPD berbasis eksperimen virtual, media pendukung, serta instrumen asesmen pembelajaran. Pendampingan dilakukan secara intensif melalui konsultasi kelompok maupun individual sehingga setiap peserta mampu menghasilkan perangkat pembelajaran yang siap diimplementasikan di sekolah masing-masing.

4. Implementasi dan Monitoring

Guru peserta mengimplementasikan perangkat pembelajaran yang telah disusun dengan memanfaatkan laboratorium virtual pada kegiatan pembelajaran IPA. Tim pengabdian melakukan monitoring melalui observasi, dokumentasi, serta diskusi reflektif untuk mengidentifikasi keberhasilan implementasi, kendala yang dihadapi guru, dan alternatif solusi yang dapat diterapkan. Hasil monitoring menjadi dasar penyempurnaan perangkat pembelajaran dan strategi pemanfaatan laboratorium virtual pada pembelajaran berikutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Analisis Kebutuhan



Gambar 1. Kebutuhan yang sangat tinggi terhadap pemanfaatan laboratorium virtual

Gambar 1 menunjukkan bahwa sebagian besar guru sekolah dasar memiliki kebutuhan yang sangat tinggi terhadap pemanfaatan laboratorium virtual dalam pembelajaran IPA. Indikator dengan persentase tertinggi adalah kesiapan guru untuk mengimplementasikan laboratorium virtual (94,3%), diikuti oleh kebutuhan pendampingan (91,4%) dan kebutuhan pelatihan (88,6%). Temuan ini mengindikasikan bahwa guru memiliki motivasi yang kuat untuk mengadopsi inovasi pembelajaran berbasis teknologi, namun masih membutuhkan penguatan kompetensi melalui program pengembangan profesional yang sistematis.

Di sisi lain, 77,1% guru belum pernah menggunakan laboratorium virtual, sedangkan 82,9% menyatakan bahwa pelaksanaan praktikum IPA di sekolah belum optimal. Kedua temuan ini menunjukkan adanya kesenjangan (gap) antara kebutuhan pembelajaran dan kemampuan implementasi teknologi. Rendahnya pengalaman menggunakan laboratorium virtual bukan disebabkan oleh rendahnya minat guru, melainkan lebih dipengaruhi oleh keterbatasan akses terhadap pelatihan, minimnya pengalaman praktik, serta belum tersedianya perangkat pembelajaran yang mengintegrasikan laboratorium virtual secara sistematis.

Jika dibandingkan antar indikator, terlihat bahwa kesiapan mengimplementasikan (94,3%) jauh lebih tinggi dibandingkan pengalaman penggunaan sebelumnya (77,1%), dengan selisih 17,2 poin persentase. Perbedaan ini merupakan temuan penting karena menunjukkan bahwa guru

memiliki readiness to change yang tinggi. Artinya, hambatan utama transformasi pembelajaran bukan terletak pada resistensi guru terhadap teknologi, melainkan pada kurangnya dukungan berupa pelatihan, pendampingan, dan penyediaan sumber belajar yang memadai.

Tingginya kebutuhan pendampingan (91,4%) yang bahkan lebih besar dibandingkan kebutuhan pelatihan (88,6%) juga memberikan informasi penting. Guru tidak hanya memerlukan pemahaman konseptual mengenai laboratorium virtual, tetapi juga membutuhkan pendampingan berkelanjutan dalam menyusun modul ajar, LKPD, strategi implementasi, serta asesmen pembelajaran. Dengan kata lain, peningkatan kompetensi guru tidak cukup dilakukan melalui pelatihan satu arah, tetapi memerlukan model pengembangan profesional yang bersifat berkesinambungan (continuous professional development) (Borko et al., 2021; Romijn et al., 2021; Tanışlı et al., 2020).

Secara keseluruhan, hasil analisis kebutuhan menegaskan bahwa implementasi laboratorium virtual memiliki peluang keberhasilan yang tinggi karena didukung oleh kesiapan dan motivasi guru. Namun, keberhasilan tersebut sangat bergantung pada tersedianya program pelatihan yang aplikatif, pendampingan intensif, serta dukungan sarana dan kebijakan sekolah. Oleh karena itu, kegiatan pengabdian ini dirancang melalui tahapan analisis kebutuhan, pelatihan, pendampingan, implementasi, dan monitoring agar mampu menjawab kesenjangan kompetensi yang teridentifikasi pada tahap awal dan menghasilkan perubahan praktik pembelajaran yang berkelanjutan.

2. Pelatihan Optimalisasi Laboratorium Virtual

Pelatihan optimalisasi laboratorium virtual dilaksanakan selama kegiatan pengabdian pada tanggal 13–19 Juni 2026 di Hotel Papa Kana, Gondang, Kabupaten Mojokerto. Kegiatan diikuti oleh 35 guru sekolah dasar yang merupakan anggota PGRI Kecamatan Gondang. Pelatihan dirancang untuk meningkatkan kompetensi guru dalam memanfaatkan laboratorium virtual sebagai media pembelajaran IPA yang inovatif, interaktif, dan adaptif terhadap perkembangan teknologi pendidikan.



Gambar 2. Keseluruhan peserta Pengabdian

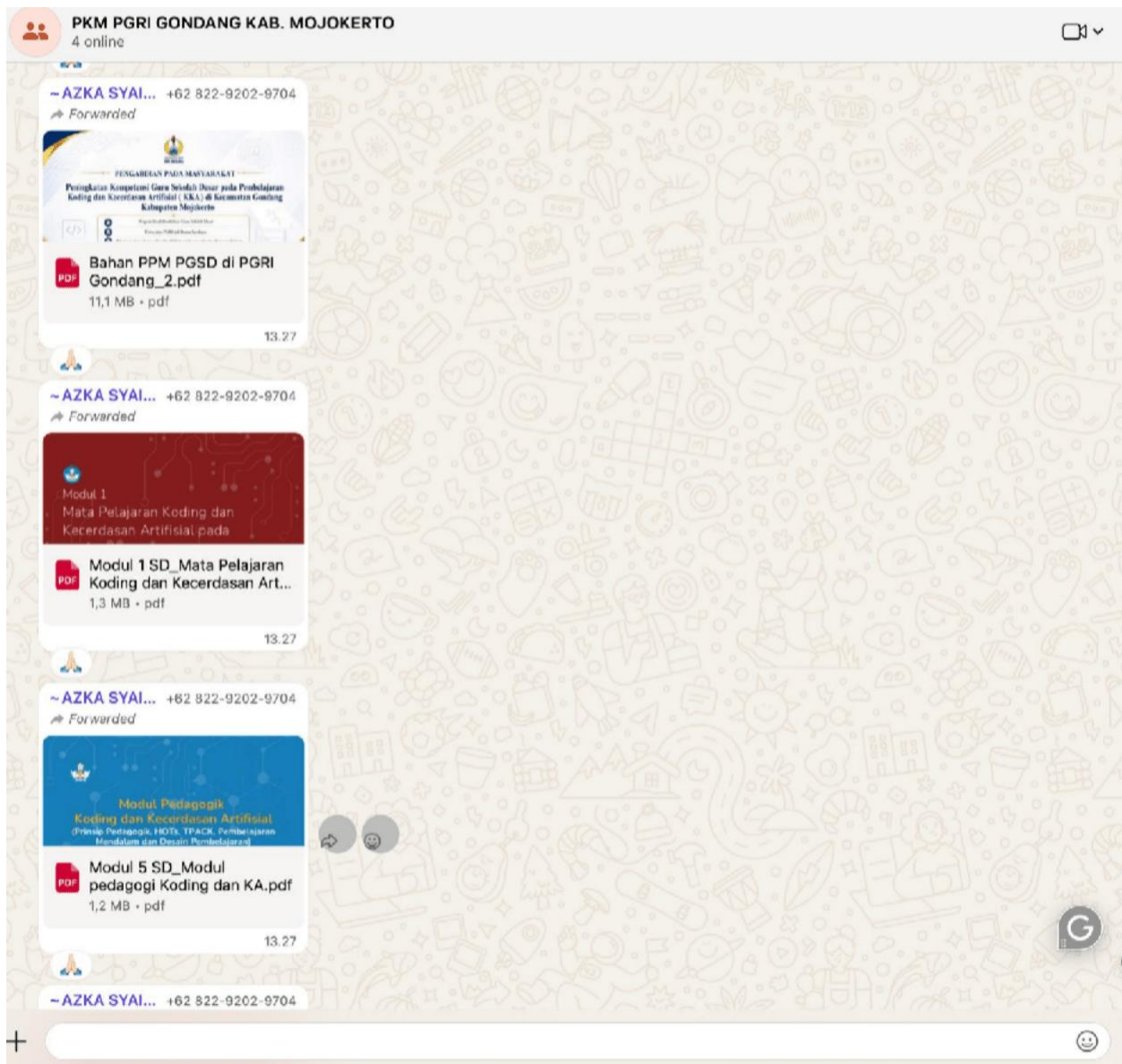
Pelaksanaan pelatihan diawali dengan penyampaian materi mengenai urgensi transformasi pembelajaran IPA di era digital serta peran laboratorium virtual dalam mendukung pembelajaran berbasis eksperimen. Selanjutnya, peserta diperkenalkan pada berbagai platform laboratorium virtual yang dapat dimanfaatkan dalam pembelajaran IPA sekolah dasar, seperti simulasi interaktif untuk materi gaya, energi, listrik, tata surya, perubahan wujud benda, serta ekosistem. Selain memahami karakteristik setiap platform, peserta juga memperoleh pengalaman langsung dalam mengoperasikan fitur-fitur utama, menjalankan simulasi, memodifikasi variabel percobaan, dan menginterpretasikan hasil eksperimen virtual.



Gambar 3. Peserta aktif mencoba, Menyusun dan mempraktikkan

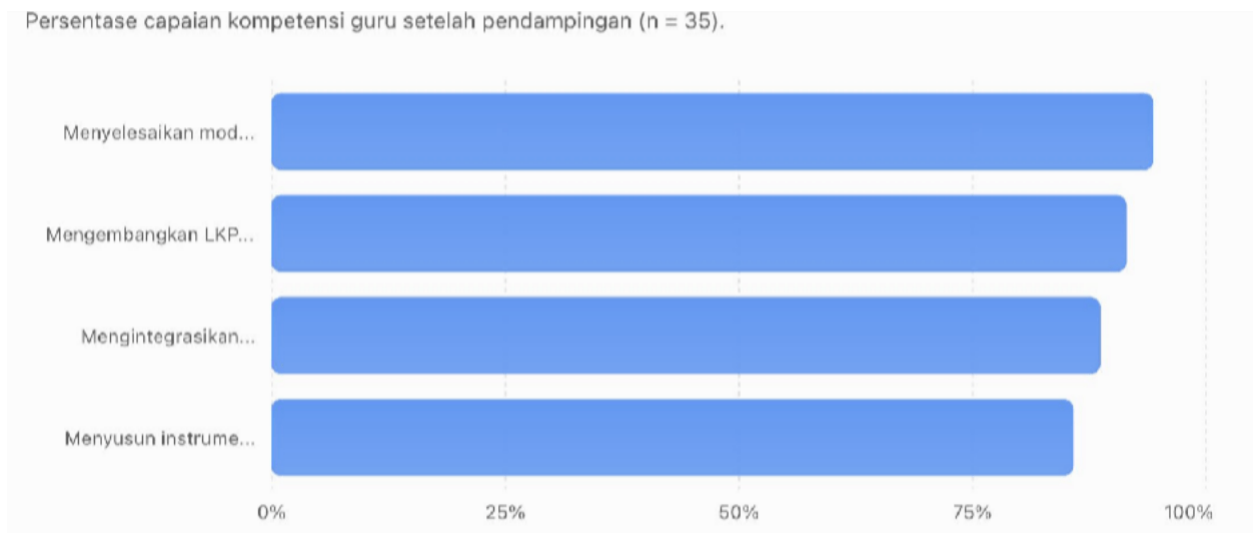
Kegiatan pelatihan dilanjutkan dengan praktik penyusunan perangkat pembelajaran yang mengintegrasikan laboratorium virtual ke dalam modul ajar dan Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD). Peserta dibagi ke dalam beberapa kelompok untuk merancang skenario pembelajaran sesuai capaian pembelajaran pada Kurikulum Merdeka. Setiap kelompok mendiskusikan pemilihan materi, tujuan pembelajaran, aktivitas praktikum virtual, serta teknik asesmen yang sesuai dengan karakteristik peserta didik sekolah dasar. Selama proses tersebut, tim pengabdian memberikan pendampingan secara intensif sehingga setiap kelompok mampu menghasilkan rancangan pembelajaran yang aplikatif. Pendampingan Penyusunan Perangkat Pembelajaran

Tahap pendampingan dilaksanakan setelah seluruh peserta mengikuti pelatihan optimalisasi laboratorium virtual. Kegiatan ini bertujuan memastikan bahwa pengetahuan dan keterampilan yang telah diperoleh selama pelatihan dapat diimplementasikan dalam bentuk perangkat pembelajaran yang siap digunakan di kelas. Pendampingan dilakukan secara intensif melalui konsultasi kelompok maupun individual dengan melibatkan tim pengabdian sebagai fasilitator.



Gambar 4. Pendampingan penyusunan perangkat

Selama proses pendampingan, setiap peserta menyusun perangkat pembelajaran yang terdiri atas modul ajar, Lembar Kerja Peserta Didik (LKPD) berbasis eksperimen virtual, media pendukung pembelajaran, serta instrumen asesmen yang disesuaikan dengan Capaian Pembelajaran (CP) dan Tujuan Pembelajaran (TP) pada Kurikulum Merdeka. Tim pengabdian memberikan umpan balik secara berkelanjutan terkait kesesuaian sintaks pembelajaran, pemilihan platform laboratorium virtual, desain aktivitas eksperimen, serta penyusunan instrumen penilaian yang mampu mengukur aspek pengetahuan, keterampilan, dan sikap peserta didik.



Gambar 5. Persentase capaian Guru setelah pendampingan

Hasil pendampingan menunjukkan bahwa peserta mengalami peningkatan kemampuan dalam menyusun perangkat pembelajaran berbasis laboratorium virtual. Dari 35 peserta, sebanyak 94,3% berhasil menyelesaikan modul ajar sesuai dengan komponen Kurikulum Merdeka, 91,4% mampu mengembangkan LKPD berbasis eksperimen virtual secara mandiri, 88,6% berhasil mengintegrasikan media laboratorium virtual ke dalam skenario pembelajaran, dan 85,7% mampu menyusun instrumen asesmen yang selaras dengan tujuan pembelajaran dan aktivitas praktikum virtual.

Evaluasi kualitas perangkat pembelajaran dilakukan menggunakan rubrik yang mencakup aspek kesesuaian materi, integrasi laboratorium virtual, kreativitas desain pembelajaran, dan kelayakan implementasi. Berdasarkan hasil penilaian, nilai rata-rata kualitas perangkat pembelajaran mencapai 89,2 (kategori sangat baik). Sebagian besar peserta mampu menyusun perangkat yang sistematis, kontekstual, dan berorientasi pada pembelajaran aktif. Hanya sebagian kecil peserta yang masih memerlukan penyempurnaan pada aspek penyusunan rubrik penilaian autentik dan pengelolaan aktivitas praktikum virtual (Article, 2025; Rosmiati et al., 2025; Rosmiati Rosmiati et al., n.d.; Muhammad Satriawan et al., 2021).

Selama pendampingan juga terlihat adanya peningkatan kepercayaan diri guru dalam merancang pembelajaran berbasis teknologi. Diskusi antarpeserta berlangsung aktif melalui kegiatan saling memberikan masukan terhadap perangkat yang dikembangkan. Kolaborasi tersebut tidak hanya meningkatkan kualitas perangkat pembelajaran, tetapi juga membentuk komunitas belajar guru yang saling mendukung dalam mengimplementasikan inovasi pembelajaran IPA di sekolah dasar (Peterson et al., 2025; Schmid et al., 2021).

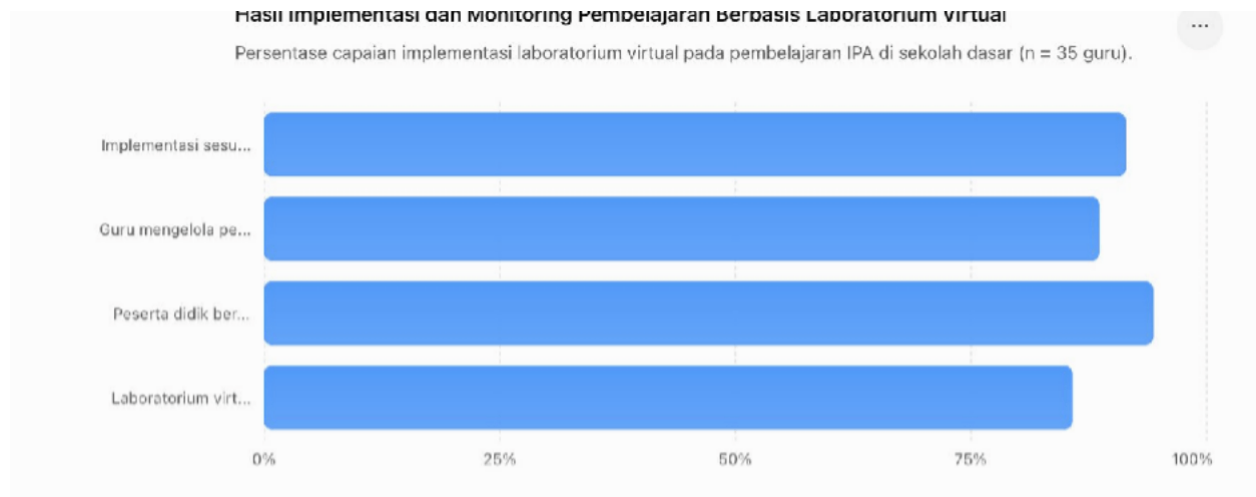
Secara keseluruhan, tahap pendampingan berhasil menghasilkan perangkat pembelajaran yang siap diterapkan di sekolah masing-masing. Keberhasilan tersebut menunjukkan bahwa kombinasi pelatihan dan pendampingan intensif menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan kompetensi profesional guru, khususnya dalam mengembangkan perangkat pembelajaran berbasis laboratorium virtual untuk mendukung pembelajaran IPA yang adaptif, inovatif, dan berkelanjutan.

3. Implementasi dan Monitoring

Tahap implementasi dilaksanakan setelah seluruh peserta menyelesaikan perangkat pembelajaran berbasis laboratorium virtual. Guru mengimplementasikan modul ajar, LKPD, media pembelajaran, dan instrumen asesmen yang telah disusun pada kegiatan pembelajaran IPA di sekolah masing-masing. Implementasi difokuskan pada materi-materi IPA yang memerlukan visualisasi konsep dan kegiatan eksperimen, seperti gaya dan gerak, energi, perubahan wujud benda, tata surya, serta ekosistem. Selama proses pembelajaran, laboratorium virtual dimanfaatkan sebagai

media untuk melakukan simulasi eksperimen sehingga peserta didik dapat mengamati fenomena ilmiah secara interaktif meskipun dengan keterbatasan fasilitas laboratorium fisik.

Monitoring dilakukan oleh tim pengabdian melalui observasi pembelajaran, telaah perangkat pembelajaran, dokumentasi kegiatan, serta diskusi reflektif bersama guru setelah proses pembelajaran berlangsung. Monitoring bertujuan mengevaluasi keterlaksanaan pembelajaran, efektivitas penggunaan laboratorium virtual, keterlibatan peserta didik, serta kendala yang dihadapi guru selama implementasi.



Gambar 6. Hasil Implementasi dan monitoring pembelajaran menggunakan VILAB

Hasil monitoring menunjukkan bahwa 91,4% guru berhasil mengimplementasikan perangkat pembelajaran berbasis laboratorium virtual sesuai dengan skenario yang telah disusun. Sebanyak 88,6% guru mampu mengelola aktivitas pembelajaran secara interaktif dengan memanfaatkan fitur-fitur laboratorium virtual, sedangkan 94,3% peserta didik menunjukkan antusiasme dan partisipasi aktif selama mengikuti pembelajaran. Selain itu, 85,7% guru menyatakan bahwa penggunaan laboratorium virtual membantu menjelaskan konsep-konsep IPA yang bersifat abstrak sehingga lebih mudah dipahami oleh peserta didik.

Observasi pembelajaran menunjukkan bahwa laboratorium virtual memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk melakukan eksplorasi, mengubah variabel percobaan, mengamati hasil simulasi secara langsung, serta mendiskusikan hubungan antara konsep teori dan fenomena yang diamati. Kondisi tersebut mendorong meningkatnya aktivitas bertanya, berdiskusi, dan mengemukakan pendapat selama proses pembelajaran. Guru juga menjadi lebih percaya diri dalam mengelola pembelajaran berbasis teknologi karena perangkat pembelajaran yang telah disusun dapat diterapkan sesuai dengan kondisi kelas.

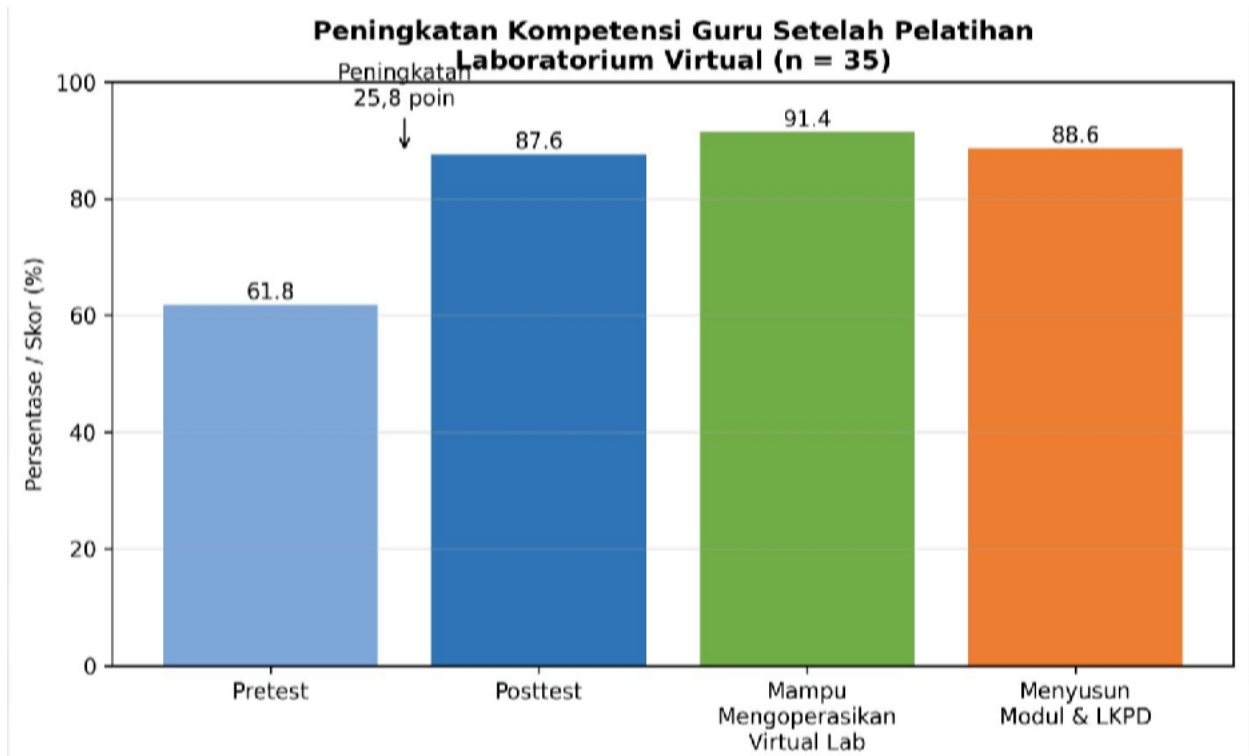
Meskipun demikian, beberapa kendala masih ditemukan selama implementasi. Kendala utama meliputi keterbatasan jaringan internet di beberapa sekolah, variasi kemampuan literasi digital peserta didik, serta ketersediaan perangkat TIK yang belum merata. Untuk mengatasi kendala tersebut, tim pengabdian memberikan rekomendasi berupa penyediaan versi simulasi yang dapat digunakan secara luring (offline), pengelompokan peserta didik dalam penggunaan perangkat secara bergantian, serta pengembangan panduan penggunaan laboratorium virtual yang lebih sederhana agar mudah dioperasikan oleh guru maupun peserta didik.

Berdasarkan hasil monitoring dan diskusi reflektif, dilakukan penyempurnaan terhadap modul ajar, LKPD, dan instrumen asesmen agar lebih sesuai dengan karakteristik peserta didik dan kondisi sekolah (Rosmiati et al., 2024; R. Rosmiati et al., 2020; Rosmiati Rosmiati et al., 2020b, 2020a). Perbaikan tersebut meliputi penyederhanaan langkah-langkah praktikum virtual, penambahan petunjuk penggunaan aplikasi, penguatan pertanyaan berbasis keterampilan proses sains, serta penyesuaian bentuk asesmen autentik. Dengan demikian, implementasi laboratorium

virtual tidak hanya meningkatkan kualitas pembelajaran IPA, tetapi juga menghasilkan perangkat pembelajaran yang lebih adaptif, praktis, dan siap diterapkan secara berkelanjutan di sekolah dasar.

4. Evaluasi Program

Evaluasi dilakukan untuk mengetahui efektivitas kegiatan pengabdian dalam meningkatkan kompetensi guru. Instrumen evaluasi meliputi tes awal (*pretest*) dan tes akhir (*posttest*), lembar observasi keterampilan peserta, penilaian perangkat pembelajaran yang dihasilkan, serta angket kepuasan peserta terhadap pelaksanaan kegiatan. Data kuantitatif dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa rata-rata, persentase, dan peningkatan nilai pretest–posttest, sedangkan data kualitatif dianalisis melalui reduksi data, penyajian data, dan penarikan kesimpulan untuk menggambarkan perubahan kompetensi guru setelah mengikuti program.



Gambar 7. Peningkatan Kompetensi Guru setelah pelatihan

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa pelatihan memberikan dampak positif terhadap peningkatan kompetensi peserta. Berdasarkan hasil pretest dan posttest, terjadi peningkatan rata-rata pemahaman guru mengenai konsep laboratorium virtual dari 61,8 menjadi 87,6, atau mengalami peningkatan sebesar 25,8 poin. Selain itu, sebanyak 91,4% peserta mampu mengoperasikan platform laboratorium virtual secara mandiri, sedangkan 88,6% peserta berhasil menyusun modul ajar dan LKPD yang mengintegrasikan kegiatan praktikum virtual sesuai dengan karakteristik pembelajaran IPA di sekolah dasar.

Observasi selama kegiatan menunjukkan bahwa peserta mengikuti seluruh rangkaian pelatihan dengan antusias. Hal ini terlihat dari tingginya partisipasi dalam sesi diskusi, praktik penggunaan laboratorium virtual, serta presentasi hasil penyusunan perangkat pembelajaran. Guru menyatakan bahwa laboratorium virtual memberikan alternatif praktikum yang lebih mudah diakses, aman, dan mampu memvisualisasikan konsep-konsep IPA yang selama ini sulit dijelaskan melalui pembelajaran konvensional. Selain itu, peserta juga menilai bahwa penggunaan laboratorium virtual dapat meningkatkan keterlibatan peserta didik karena pembelajaran menjadi lebih interaktif dan memberi kesempatan kepada siswa untuk melakukan eksplorasi secara mandiri.

Pada akhir pelatihan, setiap kelompok mempresentasikan perangkat pembelajaran yang

telah dikembangkan dan memperoleh umpan balik dari tim pengabdian maupun peserta lainnya. Hasil penilaian menunjukkan bahwa seluruh kelompok telah mampu mengintegrasikan laboratorium virtual ke dalam tahapan pembelajaran mulai dari kegiatan pendahuluan, inti, hingga penutup. Perangkat pembelajaran yang dihasilkan dinilai telah memenuhi prinsip pembelajaran aktif, berpusat pada peserta didik, serta mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, dan literasi digital.

Secara keseluruhan, pelatihan optimalisasi laboratorium virtual berhasil meningkatkan pengetahuan, keterampilan, dan kepercayaan diri guru dalam memanfaatkan teknologi digital sebagai media pembelajaran IPA. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan pelatihan yang memadukan ceramah interaktif, demonstrasi, praktik langsung, diskusi kelompok, dan pendampingan efektif dalam meningkatkan kompetensi profesional guru. Hasil tersebut sekaligus memperkuat bahwa laboratorium virtual memiliki potensi besar untuk mendukung pembelajaran IPA yang lebih adaptif, kontekstual, dan berkelanjutan di sekolah dasar (Application et al., 2022; M Habibulloh et al., 2024; Halimatul Mu, 2022; R Rosmiati et al., 2026; Muhammad Satriawan, Satianingsih, et al., 2026).

Keberhasilan program ditentukan berdasarkan beberapa indikator, yaitu meningkatnya pemahaman guru mengenai konsep laboratorium virtual, meningkatnya keterampilan guru dalam mengoperasikan platform laboratorium virtual, tersusunnya perangkat pembelajaran berbasis laboratorium virtual, terlaksananya implementasi pembelajaran di sekolah, serta tingginya tingkat kepuasan peserta terhadap pelaksanaan kegiatan. Dengan tahapan tersebut, kegiatan pengabdian diharapkan mampu meningkatkan kompetensi profesional guru dalam memanfaatkan teknologi digital sehingga tercipta pembelajaran IPA yang lebih interaktif, adaptif, dan berkelanjutan di sekolah dasar.

KESIMPULAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat melalui optimalisasi laboratorium virtual berhasil meningkatkan kompetensi guru sekolah dasar dalam memanfaatkan teknologi digital sebagai media pembelajaran IPA. Program yang dilaksanakan melalui tahapan analisis kebutuhan, pelatihan, pendampingan penyusunan perangkat pembelajaran, serta implementasi dan monitoring menunjukkan hasil yang positif. Sebagian besar guru mampu menyusun modul ajar, LKPD berbasis eksperimen virtual, media pembelajaran, dan instrumen asesmen yang terintegrasi dengan laboratorium virtual sesuai prinsip Kurikulum Merdeka.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa guru telah mampu menerapkan laboratorium virtual secara efektif dalam pembelajaran IPA sehingga pembelajaran menjadi lebih interaktif, kontekstual, dan berpusat pada peserta didik. Pemanfaatan laboratorium virtual juga meningkatkan partisipasi aktif peserta didik serta membantu guru menjelaskan konsep-konsep IPA yang bersifat abstrak melalui simulasi eksperimen yang mudah diakses. Dengan demikian, optimalisasi laboratorium virtual merupakan salah satu strategi yang efektif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran IPA sekaligus mendukung terwujudnya pendidikan yang adaptif dan berkelanjutan di sekolah dasar.

Ke depan, program serupa perlu diperluas dengan pendampingan yang lebih berkelanjutan, pengembangan komunitas praktisi guru, serta penyediaan akses laboratorium virtual yang lebih luas sehingga inovasi pembelajaran berbasis teknologi dapat diimplementasikan secara konsisten di berbagai sekolah dasar.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan apresiasi dan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Guru Sekolah Dasar Universitas PGRI Adi Buana Surabaya atas dukungan dalam penyelenggaraan kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan

kepada Persatuan Guru Republik Indonesia (PGRI) Kecamatan Gondang Kabupaten Mojokerto sebagai mitra kegiatan yang telah memberikan dukungan, kerja sama, dan partisipasi aktif selama seluruh rangkaian program berlangsung. Penghargaan turut diberikan kepada seluruh guru peserta yang telah berpartisipasi secara antusias dalam setiap tahapan kegiatan, mulai dari pelatihan, pendampingan, hingga implementasi laboratorium virtual di sekolah masing-masing. Semoga hasil kegiatan ini dapat memberikan kontribusi nyata bagi peningkatan kualitas pembelajaran IPA dan pengembangan pendidikan dasar yang adaptif terhadap kemajuan teknologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditama, P. W., Pandawana, I. D. G. A., Mutiarani, R. A., Swijayanti, D. A. N., & Sudipa, I. G. I. (2022). Aplikasi Digital Kearifan Lokal Tarian dan Busana Tari Bali Berbasis Android. *JUSIFO (Jurnal Sistem Informasi)*, 8(1), 23–34. doi: 10.19109/jusifo.v8i1.12095
- Amran, A., Perkasa, M., Jasin, I., Satriawan, M., & Irwansyah, M. (2019). Model Pembelajaran Berbasis Nilai Pendidikan Karakter Untuk Generasi Indonesia Abad 21. *Lentera Pendidikan : Jurnal Ilmu Tarbiyah Dan Keguruan*, 22(2), 233. doi: 10.24252/lp.2019v22n2i5
- Application, F., Gargalo, L., Gernaey, V., Caccavale, F., Engineering, B., Gargalo, C. L., Engineering, B., Gernaey, K. V., Engineering, B., & Engineering, B. (2022). *TO BE fAIr : ETHICAL AND FAIR APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN VIRTUAL LABORATORIES*. 1022–1030. doi: 10.5821/conference-9788412322262.1398
- Article, O. (2025). *Artificial intelligence in innovation management : A review of innovation capabilities and a taxonomy of AI applications*. August 2023, 76–111. doi: 10.1111/jpim.12698
- Bircan, M. A. (2025). The effect of STEM themed story writing training with artificial intelligence tools on the digital literacy and 21 st century skills of preservice teachers. *Education and Information Technologies*, 30(15), 21479–21498. doi: 10.1007/s10639-025-13625-2
- Borko, H., Zaccarelli, F. G., Reigh, E., & Osborne, J. (2021). Teacher facilitation of elementary science discourse after a professional development initiative. *Elementary School Journal*, 121(4), 561–585. doi: 10.1086/714082
- Dodevska, M., Zdravevski, E., Chorbev, I., Kostoska, M., Branco, F., Jorge, P., Miguel, I., & Lameski, P. (2025). Social Sciences & Humanities Open Virtual reality as a learning tool : Evaluating the use and effectiveness of simulation laboratories in educational settings. *Social Sciences & Humanities Open*, 12(July), 101742. doi: 10.1016/j.ssaho.2025.101742
- Erdoğan, F. (2020). The relationship between prospective middle school mathematics teachers' critical thinking skills and reflective thinking skills. *Participatory Educational Research*, 7(1), 220–241. doi: 10.17275/per.20.13.7.1
- Finkelstein, N. D. (2025). *Leveraging AI for Rapid Generation of Physics Simulations in Education: Building Your Own Virtual Lab*. October.
- Habibulloh, M., Satriawan, M., & ... (2024). Designing e-Book of Basic Physics Fluid Series with Assistant of Virtual Laboratory to Improve Critical Thinking Skills. *Physics Education ...*. Retrieved from <https://journal.walisongo.ac.id/index.php/perj/article/view/23410>
- Habibulloh, Muhammad, Satriawan, M., Zakaria, A., & Sya'roni, I. (2024). Designing e-Book of Basic Physics Fluid Series with Assistant of Virtual Laboratory to Improve Critical Thinking Skills. *Physics Education Research Journal*, 6(2), 75–84. doi: 10.21580/perj.2024.6.2.23410
- Halimatul Mu, I. (2022). PENGARUH PENGGUNAAN APLIKASI PRAKTIKUM VIRTUAL LAB BERBASIS OLABS (ONLINE LABORATORY) TERHADAP HASIL BELAJAR SISWA. *Indonesian Journal Of Community Service*, 2(103), 281496.
- Khoirunnisa, G. (2022). Design a Virtual Laboratory Based on the Characteristics of Vocational Students. In *Aip Conference Proceedings* (Vol. 2566). doi: 10.1063/5.0116674
- Maddipatla, Y., Tian, S., Liang, X., & Zheng, M. (2025). *VR Co-Lab : A Virtual Reality Platform for Human – Robot Disassembly Training and Synthetic Data Generation*. 1–32.
- Méndez-Espinoza, D., Ojeda-Ruiz, M. Á., Marín-Monroy, E. A., Jiménez-Esquível, V., & Cota-Nieto, J. J. (2020). Participatory research to understand spatio-temporal dynamics of small-scale fleets: The C. bellicosus fishery in Magdalena Bay, Baja California Sur, Mexico. *Ocean and Coastal Management*, 198. doi: 10.1016/j.ocecoaman.2020.105369
- Novia, D., Husaeni, A., & Haristiani, N. (2025). *ASEAN Journal of Science and What Evidence Supports the Advancement of Language Learning Through Digital Innovation ? Toward Achieving Sustainable Development Goals (SDGs) in the 21 st Century Completed with*

Bibliometric Analysis. 5(2), 327–356.

- Peterson, J. M., & Jensen, M. T. (2025). Teacher self-efficacy in relation to cultural and linguistic diversity in K–12 settings: a systematic review. *Frontiers in Education*, 10(May). doi: 10.3389/educ.2025.1531481
- Reginald, G. (2023). Teaching and learning using virtual labs : Investigating the effects on students ' self- regulation Teaching and learning using virtual labs : Investigating the effects on students ' self- regulation. *Cogent Education*, 10(1). doi: 10.1080/2331186X.2023.2172308
- Romijn, B. R., Slot, P. L., & Leseman, P. P. M. (2021). Increasing teachers' intercultural competences in teacher preparation programs and through professional development: A review. *Teaching and Teacher Education*, 98, 103236. doi: 10.1016/j.tate.2020.103236
- Rosmiati, R., Liliarsari, S., Tjasyono, B., & Ramalis, T. R. (2020). Physics pre-service argumentation to increase reflective thinking capabilities. *Journal of Physics: Conference Series*, 1521(2). doi: 10.1088/1742-6596/1521/2/022038
- Rosmiati, R., & Satriawan, M. (2022a). Pengembangan Modul Digital Materi Kebumian Untuk Meningkatkan Literasi Iklim Di Indonesia. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 6(2), 177–189. Retrieved from <http://www.uniflor.ac.id/e-journal/index.php/optika/article/view/2268>
- Rosmiati, R., & Satriawan, M. (2022b). Pengembangan modul digital materi kebumian untuk meningkatkan literasi iklim di indonesia. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*. Retrieved from <https://e-journal.uniflor.ac.id/index.php/optika/article/view/2268>
- Rosmiati, R, Satriawan, M., Satianingsih, R., Astutik, E. P., & ... (2026). Pengembangan Petunjuk Pratikum Laboratorium Virtual sebagai Pendekatan Pembelajaran Deep Learning bagi Mahasiswa Calon Guru SD. In DIKSI: Jurnal Kajian Retrieved from <https://bimaberilmu.com/jurnal/index.php/diksi/article/download/3933/1283>
- Rosmiati, Rosmiati, Fanani, A., Satianingsih, R., Satriawan, M., Wid Ya Hanindita, A., Rohmah, N., & Rosmiati, S. (n.d.). *Educational Studies Design Game Uwuhpoly For Increase Literacy Trash in Elementary School Children in Surabaya Design Game Uwuhpoly For Increase Literacy Trash in Elementary School Children in*. Retrieved from <https://mc.manuscriptcentral.com/CEDS>
- Rosmiati, Rosmiati, Liliarsari, L., Tjasyono, B., Ramalis, T. R., & Satriawan, M. (2020a). Analysis of Pre-Service Teachers' Reflective Thinking Ability Profile on Earth Physics Lectures. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 8(1), 56–63. doi: 10.26618/jpf.v8i1.3111
- Rosmiati, Rosmiati, Liliarsari, L., Tjasyono, B., Ramalis, T. R., & Satriawan, M. (2020b). Measuring level of reflective thinking of physics pre-service teachers using effective essay argumentation. *Reflective Practice*, 00(00), 565–586. doi: 10.1080/14623943.2020.1777957
- Rosmiati, Satriawan, M., Fanny, A., Satianingsih, R., Utari, S., Ningsih, E., Rasyiida, G., Anandha, A., & Anam, P. (2025). Design of reflective - Sustainable development education oriented project-based learning platform for elementary school students in Indonesia. *Multidisciplinary Science Journal*, 7(9). doi: 10.31893/multiscience.2025444
- Rosmiati, Satriawan, M., Rachmadtullah, R., & Satianingsih, R. (2024). Designing ocean climate lecture-based prediction-argumentation to improve reflective thinking of pre-service teacher in Indonesia. *Reflective Practice*, 00(00), 1–14. doi: 10.1080/14623943.2024.2398774
- Satianingsih, R., Rosmiati, Satriawan, M., & Rakhman, F. (2024). Perceptions of pre-service elementary school teachers toward education for sustainable development through character education. *E3S Web of Conferences*, 513. doi: 10.1051/e3sconf/202451304010
- Satriawan, M, Rosmiati, Hariyono, E., & ... (2025). Ocean wave energy learning project (OWELP): a program to communicate alternative energy technology. *Research in Science &* doi: 10.1080/02635143.2024.2400950
- Satriawan, M, Rosmiati, Saputra, O., & ... (2026). The landscape of renewable energy awareness: Cognitive, affective, conative, and reflective analysis as a foundation for strengthening sustainable energy literacy. *E3S Web of* Retrieved from https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2026/14/e3sconf_icssf2026_02012/e3sconf_icssf2026_02012.html
- Satriawan, Muhammad, Liliarsari, L., Setiawan, W., Abdullah, A. G., & Rosmiati, R. (2021). A contextual semi assisted project-based learning (SA-PjBL) about ocean wave energy: Creative thinking of pre-service physics teachers. *Momentum: Physics Education Journal*, 132–141. doi: 10.21067/mpej.v5i2.5172
- Satriawan, Muhammad, Saputra, O., & Nisa, K. (2026). *The landscape of renewable energy awareness : Cognitive , affective , conative , and reflective analysis as a foundation for*

strengthening sustainable energy literacy. 02012.

- Satriawan, Muhammad, Satianingsih, R., & Astutik, E. P. (2026). *Pengembangan Petunjuk Pratikum Laboratorium Virtual sebagai Pendekatan Pembelajaran Deep Learning bagi Mahasiswa Calon Guru SD*. 7, 107–117.
- Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2021). Self-reported technological pedagogical content knowledge (TPACK) of pre-service teachers in relation to digital technology use in lesson plans. *Computers in Human Behavior*, 115, 106586. doi: 10.1016/j.chb.2020.106586
- Setiawan, A., Suhandi, A., Kaniawati, I., No, J. S., Keguruan, F., & Bengkulu, U. (2018). Model Higher Order Thinking Virtual Laboratory : Model Praktikum Fisika Berbasis Keterampilan Berpikir Kritis Dan Pemecahan Masalah. In *Jep* (Vol. 3, Issue 5, pp. 1–5).
- Tanışlı, D., Türkmen, H., Turgut, M., & Köse, N. (2020). How a teacher professional development program influences students' algebra performance? Reflections from a web-based platform. *Journal of Pedagogical Research*, 4(3), 327–343. doi: 10.33902/JPR.2020464571