



Pemberdayaan Siswa SMA Negeri 1 Unaaha melalui Pelatihan Laboratorium Virtual Berbasis *PhET*

Empowerment of Senior High School Students at SMA Negeri 1 Unaaha through PhET-Based Virtual Laboratory Training

La Sahara¹, Waode Alkamalia^{2*}

¹Prodi Pendidikan Fisika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Halu Oleo, Indonesia

²Prodi Pendidikan Kimia, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Halu Oleo, Indonesia

*Penulis Korespondensi: maya.alkamalia@gmail.com²

Riwayat Artikel:

Naskah Masuk: 10 September 2025;

Revisi: 24 September 2025;

Diterima: 08 Oktober 2025;

Tersedia: 11 Oktober 2025

Keywords: Chemistry Concepts; PhET; Physics Concepts; Training; Virtual Laboratory

Abstract: This community service activity aims to introduce the use of the PhET virtual laboratory and to identify students' responses to the PhET-based virtual laboratory training in empowering students at SMA Negeri 1 Unaaha. The program also seeks to address the issue of limited science practicum facilities in the partner school. The study employed a descriptive quantitative design involving a single group of 23 participants from grades X to XII in the science stream. Participants took part in several sessions, including orientation, demonstration, and exploration of the Build an Atom and Circuit Construction Kit: DC simulations. Research data were collected using a Likert-scale questionnaire consisting of 30 items covering six main indicators: conceptual understanding, motivation, activeness, interest, ability to operate PhET, and learning satisfaction. All questionnaire results were converted into percentages for each indicator. The analysis showed an average response rate of 86.67%, with details as follows: interest 92%, activeness 90%, motivation 88%, satisfaction 89%, operational ability 83%, and conceptual understanding 78%. These findings indicate a very positive acceptance and significant reinforcement in the affective, participatory, and technical skill aspects of the students.

Abstrak

Kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk memperkenalkan penggunaan laboratorium virtual *PhET* serta mengetahui respons peserta didik terhadap pelatihan laboratorium virtual berbasis *PhET* dalam memberdayakan siswa SMA Negeri 1 Unaaha. Program ini juga berupaya menjawab permasalahan keterbatasan fasilitas praktikum sains di sekolah mitra. Penelitian menggunakan desain kuantitatif deskriptif dengan melibatkan satu kelompok peserta berjumlah 23 orang dari kelas X hingga XII IPA. Peserta mengikuti beberapa sesi kegiatan yang meliputi orientasi, demonstrasi, dan eksplorasi simulasi *Build an Atom* serta *Circuit Construction Kit: DC*. Data penelitian dikumpulkan melalui angket skala Likert yang terdiri atas 30 butir pernyataan mencakup enam indikator utama, yaitu pemahaman konsep, motivasi, keaktifan, ketertarikan, kemampuan mengoperasikan *PhET*, dan kepuasan belajar. Seluruh hasil angket dikonversi menjadi persentase per indikator. Hasil analisis menunjukkan rata-rata respons sebesar 86,67% dengan rincian ketertarikan 92%, keaktifan 90%, motivasi 88%, kepuasan 89%, kemampuan operasional 83%, dan pemahaman konsep 78%. Temuan ini menunjukkan tingkat penerimaan yang sangat baik serta penguatan signifikan pada aspek afektif, partisipatif, dan keterampilan teknis peserta didik.

Kata Kunci: Konsep Fisika; Konsep Kimia; Laboratorium Virtual; Pelatihan; *PhET*

1. PENDAHULUAN

Berisi Pendidikan sains di tingkat menengah menghadapi kesenjangan akses praktikum yang nyata, di mana banyak sekolah kekurangan fasilitas laboratorium memadai sehingga pengalaman eksperimen menjadi terbatas, sementara secara global komunitas pendidikan bergerak ke arah praktikum digital untuk menjaga capaian belajar dan keterampilan proses sains pasca pandemi (Laksono et al., 2023; Muslim et al., 2022). Di Indonesia, penelitian kuantitatif menunjukkan peningkatan penggunaan laboratorium virtual sebagai alternatif praktikum yang efektif untuk mengatasi kendala infrastruktur, waktu, dan keselamatan, sekaligus mempertahankan kualitas capaian kognitif dan proses sains siswa pada berbagai jenjang (Yusuf et al., 2024). Dalam konteks transisi ekosistem pembelajaran, praktik berbasis simulasi seperti *PhET* dinilai memperluas akses eksperimen yang aman, cepat, dan terukur, serta relevan bagi sekolah dengan keterbatasan sumber daya laboratorium fisik (Atmojo et al., 2024). Masalah ini urgen ditangani pada tingkat sekolah negeri daerah karena berimplikasi langsung terhadap pemerataan mutu layanan pendidikan sains dan kesiapan peserta didik menghadapi asesmen berbasis praktik di kurikulum terkini (Abdjul et al., 2019).

Era pembelajaran digital menuntut integrasi teknologi yang bermakna agar pengalaman belajar sains bukan sekadar transmisi konsep, tetapi juga rekayasa pengalaman inkuiri yang mengasah observasi, perencanaan eksperimen, hingga komunikasi ilmiah. Pada mata pelajaran sains, terutama fisika dan Kimia, transfer pengetahuan yang efektif bergantung pada keterpaparan praktik yang memungkinkan manipulasi variabel, visualisasi fenomena, dan pengujian hipotesis secara berulang dalam lingkungan aman dan terarah (Ahmad et al., 2023; Yulianita et al., 2018). Tren riset menunjukkan bahwa integrasi simulasi virtual dalam desain inkuiri dan STEM secara konsisten meningkatkan indikator keterampilan proses sains dan keterlibatan belajar, sehingga relevan dijadikan basis desain pelatihan berbasis sekolah.

Di SMA Negeri 1 Unaaha, tantangan praktikum meliputi keterbatasan alat, bahan, dan biaya operasional yang berdampak pada rendahnya frekuensi serta kedalaman pengalaman laboratorium konvensional, sehingga sebagian topik tidak memperoleh praktik memadai dalam satuan waktu pembelajaran. Dalam kondisi tersebut, laboratorium virtual ditawarkan sebagai media digital yang memungkinkan pelaksanaan eksperimen yang kompleks, berisiko, atau memerlukan peralatan mahal secara aman dan berulang, dengan jejak data yang dapat dianalisis untuk tujuan asesmen formatif. Pendekatan ini memberi ruang bagi sekolah untuk menutup kesenjangan praktik tanpa menunggu pemenuhan infrastruktur fisik yang kerap memerlukan investasi jangka Panjang (Fitria S & Maiyanti, 2023; Jannah et al., 2020).

Laboratorium virtual didefinisikan sebagai perangkat lunak yang mensimulasikan

eksperimen sains sehingga peserta didik dapat memanipulasi parameter, mengamati perubahan, dan menarik kesimpulan berbasis data secara interaktif, sekaligus mengurangi hambatan biaya, risiko, dan waktu (Sujono et al., 2023). *PhET* Interactive Simulations merupakan salah satu platform yang menyediakan simulasi fisika maupun kimia berbasis bukti yang dapat diakses melalui peramban web maupun aplikasi Android, dengan antarmuka intuitif, umpan balik visual-real time, dan aktivitas berbasis inkuiri yang mudah diintegrasikan ke LKPD (Agustinus et al., 2023; Ulfa et al., 2022). Karakteristik ini menjadikan *PhET* cocok sebagai tulang punggung pelatihan laboratorium virtual di sekolah menengah, termasuk untuk kelas besar dan variasi perangkat yang beragam .

Secara empiris, model pembelajaran inkuiri terbimbing berbantuan *PhET* terbukti lebih efektif meningkatkan keterampilan proses sains dibandingkan kontrol, ditunjukkan perbedaan skor yang signifikan secara statistik pada materi getaran dan gelombang . Perbandingan praktikum *hands-on* dengan virtual berbasis *PhET* pada topik gelombang mekanik menunjukkan performa kognitif dan keterampilan proses sains yang kompetitif di kelas virtual, menekankan bahwa kualitas desain pedagogis menjadi faktor kunci (Resesi Anto et al., 2022). Studi lain melaporkan peningkatan kemampuan analitis dan pemahaman konsep melalui virtual lab *PhET*, termasuk pada skenario pembelajaran jarak jauh saat pandemi, yang menegaskan daya adaptasi dan efektivitas pendekatan ini di berbagai konteks. Beberapa implementasi menggabungkan KIT sederhana dengan simulasi untuk menjembatani aspek psikomotorik dan memperkaya pengalaman praktik terapan (Jua, 2023).

Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat (PkM) berperan sebagai wahana integrasi sains dan teknologi yang selaras dengan tuntutan Revolusi Industri 4.0, terutama dalam penguatan kompetensi digital pendidik dan peserta didik di satuan Pendidikan (Inayah & Masruroh, 2021). Pelatihan dan *workshop* yang menstrukturkan eksplorasi simulasi, LKPD inkuiri, dan asesmen formatif telah dilaporkan meningkatkan keterampilan proses sains dan hasil belajar, serta layak di replikasi di sekolah negeri dengan sumber daya terbatas (Anjarsari et al., 2023). Dalam konteks ini, *PhET* merupakan opsi murah dan mudah diadopsi untuk menghadirkan pengalaman praktikum daring maupun bauran, dengan dukungan ekosistem aktivitas yang terus berkembang (Azhar et al., 2023).

Masalah umum pada kegiatan sejenis adalah minimnya fasilitas komputer dan heterogenitas perangkat, yang kerap menghambat pemerataan akses pada sesi praktikum digital. Solusi yang layak adalah pendampingan penggunaan *PhET* via *smartphone* atau peramban ringan tanpa instalasi kompleks, disertai tahapan pelatihan yang sistematis mulai dari orientasi antarmuka, eksplorasi variabel, perancangan mini-eksperimen, hingga refleksi

berbasis data (Sahara et al., 2024). Rancangan demikian menjaga inklusivitas akses sekaligus memastikan kualitas pengalaman belajar melalui prosedur kerja yang terstruktur dan rubrik penilaian yang jelas.

Berdasarkan kebutuhan tersebut, tujuan PkM ini adalah mendampingi peserta didik SMA Negeri 1 Unaaha, dalam memanfaatkan *PhET* sebagai substitusi dan pelengkap praktikum terutama untuk topik-topik inti fisika dan kimia, serta mengukur respons peserta terhadap kegiatan pelatihan yang telah dilakukan di SMA Negeri 1 Unaaha. Kegiatan ini menegaskan potensi laboratorium virtual—termasuk pengembangan menuju realitas virtual—sebagai solusi kontekstual atas keterbatasan fasilitas, dengan luaran berupa paket pelatihan, LKPD inkuiri, dan instrumen asesmen yang siap diadopsi di kelas (Saputri, 2021). Secara jangka panjang, program diharapkan memperkuat budaya praktikum berbasis data dan meningkatkan kesiapan peserta didik menghadapi pembelajaran sains era digital di wilayah dengan keterbatasan infrastruktur.

2. METODE

Kegiatan dirancang sebagai program pengabdian berbentuk pelatihan praktikum laboratorium virtual menggunakan *PhET* dengan tiga tahap utama yaitu pra-kegiatan (survei kebutuhan), pelaksanaan pelatihan, dan evaluasi berbasis angket pre–post terhadap indikator hasil yang ditetapkan (Laksono et al., 2023; Sahara et al., 2024). Peserta sasaran adalah siswa kelas X–XII IPA SMA Negeri 1 Unaaha yang berjumlah 23 orang dengan pelaksanaan di laboratorium komputer.

Tahap 1: Survei kebutuhan mitra

Pada tahap awal, tim melakukan wawancara terstruktur dengan guru fisika dan kimia untuk memetakan kebutuhan nyata pembelajaran praktikum di SMA Negeri 1 Unaaha, meliputi frekuensi dan kedalaman pelaksanaan praktikum, ketersediaan alat-bahan, alokasi waktu, serta hambatan keselamatan dan keterbatasan ruang laboratorium yang berdampak pada capaian kompetensi siswa. Guru diminta mengidentifikasi topik prioritas yang paling membutuhkan dukungan laboratorium virtual pada mata Pelajaran kimia dan fisika, sekaligus menilai kesiapan TIK peserta didik dan pola penggunaan gawai di kelas untuk menentukan moda akses *PhET*. Wawancara juga menelusuri pengalaman sebelumnya menggunakan simulasi, bentuk LKPD yang paling membantu, serta kebutuhan pendampingan teknis seperti pembacaan alat ukur virtual, pencatatan data, dan penyusunan laporan praktikum singkat agar desain pelatihan tepat sasaran dan kontekstual.

Selanjutnya, dialog dengan kepala sekolah berfokus pada kebijakan, dukungan

infrastruktur, dan penjadwalan agar pelatihan dapat berjalan inklusif dan berkelanjutan, termasuk pengaturan ruang (laboratorium komputer atau kelas dengan proyektor), ketersediaan jaringan internet dan cadangan *hotspot*, serta strategi pairing perangkat bagi siswa yang belum memiliki gawai memadai. Kepala sekolah dan tim menyepakati indikator keberhasilan awal (misalnya persentase siswa yang mampu mengoperasikan *PhET* secara mandiri dan peningkatan skor angket pada motivasi serta pemahaman konsep), mekanisme monitoring (pre–post angket/kuis singkat), serta rencana tindak lanjut seperti klinik mingguan/komunitas praktikum virtual di sekolah. Kesepakatan ini diakhiri dengan penentuan tanggal, durasi sesi, jumlah peserta per gelombang, topik simulasi tahap awal, dan prosedur dokumentasi agar hasil kegiatan dapat diintegrasikan ke program sekolah dan direplikasi pada mata pelajaran terkait.

Tahap 2: Pelaksanaan Pelatihan

Sesi dimulai dengan orientasi singkat tentang tujuan pelatihan dan alur kegiatan kemudian dilanjutkan pemberian materi tentang *PhET simulations* sebagai laboratorium virtual. Yaitu berupa definisi laboratorium virtual, kategori laboratorium virtual, keunggulan, keterbatasan laboratorium virtual dan materi kimia di antaranya struktur atom dan materi fisika berupa rangkaian listrik DC. Pemateri mendemonstrasikan simulasi *PhET* yang relevan: untuk Struktur Atom menggunakan modul “*Build an Atom/Build an Atom (Ion)*” guna memvisualisasikan penambahan proton–neutron–elektron, pembentukan ion, dan keterkaitan konfigurasi dengan nomor atom serta muatan sedangkan untuk Rangkaian DC menggunakan “*Circuit Construction Kit: DC*” untuk menata sumber tegangan, resistor, sakelar, serta memasang amperemeter–voltmeter virtual. Pada tahap ini, Pemateri mencontohkan cara memvariasikan parameter, mencatat data, membuat tabel sederhana, dan merefleksikan temuan terhadap teori, sehingga peserta memiliki model kerja eksperimen virtual yang jelas. Setelah pemateri selesai dilanjutkan dengan tanya jawab, di mana peserta dapat menanyakan hal-hal yang belum jelas tentang laboratorium virtual dan *PhET simulations*.

Tahap 3: Evaluasi Kegiatan

Evaluasi ini dilakukan dengan menyebarkan angket kepada peserta pelatihan sesudah mengikuti kegiatan pelatihan untuk mengetahui respon peserta terhadap kegiatan yang telah diikuti. Angket berjumlah 30 terdiri dari 6 indikator yaitu (1) pemahaman konsep kimia/fisika (2) Motivasi belajar; (3) Keaktifan peserta; (4) Ketertarikan terhadap *PhET simulation*; (5) Kemampuan mengoperasikan *PhET* dan (6) Kepuasan terhadap pelatihan. Pertanyaan pada lembar angket berupa pertanyaan positif dengan lima pilihan jawaban yaitu Sangat Setuju (SS) dengan skor 5, Setuju (S) dengan skor 4, Netral (N) dengan skor 3, Tidak Setuju (TS) dengan skor 2 dan Sangat Tidak Setuju (STS) dengan skor 1 dan sebaliknya untuk pertanyaan negatif

dengan lima pilihan jawaban yaitu Sangat Setuju (SS) dengan skor 1, Setuju (S) dengan skor 2, Netral (N) dengan skor 3, Tidak Setuju (TS) dengan skor 4 dan Sangat Tidak Setuju (STS) dengan skor 5. Jawaban angket peserta pada masing-masing indikator diubah kedalam bentuk skor lalu dikonversi ke dalam persentase.

3. HASIL DAN DISKUSI

Kegiatan pelatihan yang diikuti oleh 23 siswa SMA Negeri 1 Unaaha yang terdiri dari kelas X-XII IPA. pelatihan ini dilakukan untuk memperkenalkan laboratorium virtual *PhET* kepada peserta pelatihan dan mengetahui respon peserta terhadap kegiatan pelatihan dengan memberikan kuesioner setelah kegiatan pelatihan. Sebelum kegiatan pelatihan dilakukan terlebih dahulu tim melakukan survei untuk mengetahui kebutuhan mitra.

Survei Kebutuhan Mitra

Tahap awal difokuskan pada pemetaan kebutuhan praktikum kimia dan fisika melalui wawancara terstruktur yang dikombinasikan dengan observasi singkat fasilitas, sehingga data yang dihimpun tidak hanya persepsi, tetapi juga kondisi nyata di lapangan. Wawancara dengan guru memotret empat dimensi utama: intensitas dan kedalaman praktikum per topik kurikulum, kecukupan alat-bahan dan kesiapan ruang lab, alokasi waktu dan integrasinya dengan beban ajar, serta hambatan implementasi. Pertanyaan pandu juga menelusuri capaian minimal yang diharapkan guru, tipikal miskonsepsi siswa yang sering muncul, dan titik-titik kritis prosedur praktikum yang selama ini sulit dilaksanakan tanpa dukungan alat memadai. Data ini menjadi dasar seleksi simulasi *PhET* yang paling relevan, plus perancangan LKPD berbasis inkuiri yang menarget langsung miskonsepsi prioritas. Dialog penutup dengan kepala sekolah memformalkan dukungan kelembagaan agar program berjalan inklusif dan berkelanjutan. Agenda ini mencakup: penetapan ruang (laboratorium komputer atau kelas dengan proyektor), penyediaan konektivitas dan *hotspot* cadangan, pengaturan peserta *workshop* agar pendampingan optimal. Tahap ini ditutup dengan penetapan tanggal, durasi sesi, daftar peserta pelatihan.

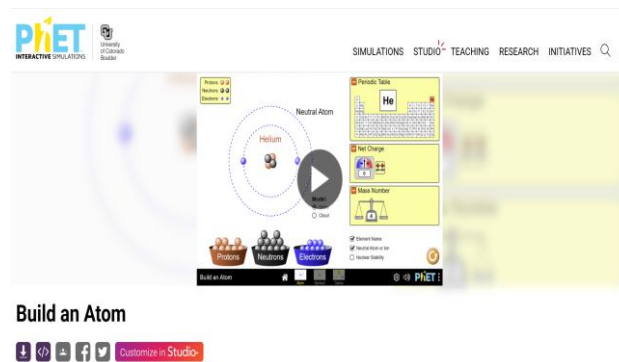
Pelaksanaan Pelatihan

Kegiatan pelatihan dimulai pemateri menjelaskan tujuan dari kegiatan pelatihan kemudian dilanjutkan dengan pengenalan *PhET simulations* sebagai laboratorium virtual untuk membantu para siswa dalam memahami konsep-konsep kimia dan fisika. Berikut ini adalah salah satu tampilan materi kimia dan fisika pada *PhET simulations* sebagai laboratorium virtual.



Gambar 1. Penyampaian Materi *PhET simulations*

Materi pembelajaran kimia dan fisika yang disimulasikan pada kegiatan pelatihan ini adalah *build an atom* dan rangkaian listrik DC, sehingga peserta dapat memilih materi sesuai dengan materi yang akan disimulasikan. Berikut tampilan awal *PhET simulations*



Gambar 2. Tampilan materi pada *PhET simulation*

Setelah pemberian materi dan simulasi kemudian dilakukan tanya jawab dan diskusi, kemudian dilanjutkan dengan latihan terkait materi yang disimulasikan.

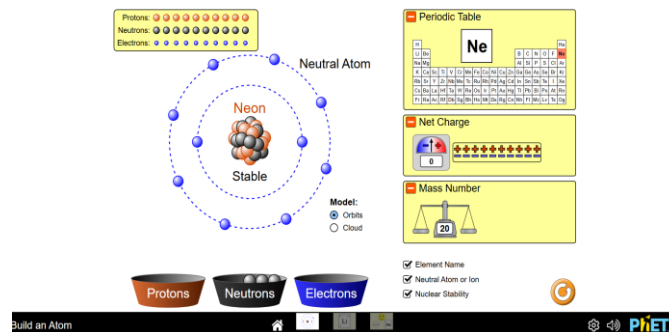


Gambar 3. Aktivitas Diskusi



Gambar 4. Aktivitas saat *Simulation PhET*

Untuk mengetahui sejauh mana pemahaman peserta dengan simulasi yang disampaikan maka peserta pelatihan melakukan latihan soal. Berikut hasil kerja dari peserta.



Gambar 5. Hasil Kerja Peserta Pelatihan

Evaluasi Kegiatan

Untuk mengetahui respon dari peserta pelatihan maka diberikan angket untuk mengetahui pemahaman konsep kimia/fisika, motivasi belajar, keaktifan peserta, ketertarikan terhadap *PhET* simulation, kemampuan mengoperasikan *PhET* serta kepuasan terhadap pelatihan yang telah diselenggarakan. Hasil evaluasi yang telah dianalisis dapat disajikan pada tabel 1.

Tabel 1. Respons Peserta terhadap Kegiatan Pelatihan

| No | Pernyataan (Indikator) | Persentase |
|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| 1. | Pemahaman konsep kimia dan fisika (persepsi pemahaman materi struktur atom dan rangkaian Listrik DC setelah eksplorasi simulasi) | 78 |
| 2. | Motivasi belajar (dorongan intrinsik untuk belajar kimia dan fisika melalui laboratorium virtual <i>PhET</i>) | 88 |
| 3. | Keaktifan siswa (partisipasi dan keterlibatan selama sesi pelatihan) | 90 |
| 4. | Ketertarikan terhadap <i>PhET</i> (minat terhadap media dan pengalaman praktikum virtual) | 92 |
| 5. | Kemampuan mengoperasikan <i>PhET</i> (keterampilan teknis mengakses, mengatur parameter, membaca instrumen, dan merekam data) | 83 |
| 6. | Kepuasan terhadap pelatihan (kualitas keseluruhan pelaksanaan, alur, fasilitas, dan kebermanfaatannya) | 89 |
| Rata-rata | | 86,67 |

Secara keseluruhan, rata-rata respons peserta mencapai 86,67% dengan distribusi indikator 78–92%, yang mengindikasikan penerimaan sangat baik terhadap pelatihan laboratorium virtual berbasis *PhET* dan keselarasan program dengan kebutuhan pembelajaran sains di SMA mitra. Ketertarikan terhadap *PhET* menempati skor tertinggi sebesar 92% dan keaktifan siswa 90%, menunjukkan bahwa rangkaian kegiatan yang memadukan demonstrasi singkat, eksplorasi variabel, dan refleksi hasil mampu memantik partisipasi aktif serta minat yang kuat terhadap pengalaman praktikum virtual. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menunjukkan *PhET* efektif meningkatkan minat dan keterlibatan belajar melalui representasi interaktif dan umpan balik real-time di berbagai topik sains (Rararati et al., 2025).

Indikator motivasi belajar berada pada 88% dan kepuasan keseluruhan 89%, menandakan bahwa alur, materi, dan pendampingan teknis dinilai relevan, bermanfaat, serta memberi pengalaman belajar yang bermakna bagi peserta. Dari sisi keterampilan teknis, kemampuan mengoperasikan *PhET* mencapai 83%, menunjukkan penguasaan dasar yang kuat namun masih menyisakan ruang perbaikan pada aspek pengaturan parameter, pembacaan instrumen virtual, dan pencatatan data yang rapi untuk analisis. Sementara itu, persepsi pemahaman konsep berada pada 78%, lebih rendah daripada indikator partisipatif.

4. KESIMPULAN

Penggunaan *PhET Simulation* pada pelatihan di SMA Negeri 1 Unaaha terbukti membantu pemahaman konsep kimia dan fisika, sekaligus menarik perhatian sehingga meningkatkan motivasi dan partisipasi belajar peserta didik, dengan dukungan data angket yang menunjukkan ketertarikan tertinggi 92%, keaktifan 90%, motivasi 88%, kepuasan 89%, kemampuan operasional 83%, dan pemahaman konsep 78% (rata-rata 86,67%), yang merefleksikan respons positif.

PENGAKUAN/ACKNOWLEDGEMENTS

Tim pengabdian mengucapkan terima kasih kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Halu Oleo dan Mitra Pengabdian Masyarakat yaitu SMA Negeri 1 Unaaha yang telah mendukung sehingga kegiatan pengabdian berjalan lancar.

DAFTAR REFERENSI

- Abdul, T., Ntobuo, N. E., & Payu, C. (2019). Development of virtual laboratory-based learning to improve physics learning outcomes of high school students. *Jurnal Pendidikan Fisika Indonesia*, 15(2), 97–106. <https://doi.org/10.15294/jpfi.v15i2.12367>
- Agustinus, M. D., Yusuf, M., & Subagya. (2023). Model pembelajaran PBL berbasis PTK-LS terhadap penguasaan konsep dan keterampilan proses sains. *Journal of Education Action Research*, 7(2), 288–297. <https://doi.org/10.23887/jear.v7i2.56631>
- Ahmad, M. S., Rahayu, Y. S., & Sukarmin, S. (2023). Training scientific literacy skills through inquiry learning with ChemCollective's virtual laboratory on chemical equilibrium. *JPPS (Jurnal Penelitian Pendidikan Sains)*, 12(2), 155–175. <https://doi.org/10.26740/jpps.v12n2.p155-175>
- Anjarsari, C., Suyatna, A., & Viyanti. (2023). Comparison of cognitive learning outcomes and students' science process skills between hands-on practicum and virtual laboratory based on PhET simulation viewed from students' learning style. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(11), 9524–9531. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i11.4065>
- Atmojo, S. E., Wardana, A. K., & Muhtarom, T. (2024). The effectiveness of an Internet of Things (IoT)-based virtual science laboratory on nervous system material in science course. *Jurnal Paedagogy*, 11(1), 71. <https://doi.org/10.33394/jp.v11i1.7938>
- Azhar, A., Irianti, M., & Rahmadhani, M. (2023). The effectiveness of the virtual lab-assisted guided discovery learning model on students' science process skills. *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, 9(1), 35–40. <https://doi.org/10.21009/1.09104>
- Fitria, S., & Maiyanti, A. A. (2023). Virtual laboratory: Development of physics practicum instruction to improve student skills. *Islamic Journal of Integrated Science Education (IJISE)*, 2(3), 161–169. <https://doi.org/10.30762/ijise.v2i3.1891>
- Inayah, N., & Masrurroh, M. (2021). PhET simulation effectiveness as laboratory practices learning media to improve students' concept understanding. *Prisma Sains: Jurnal Pengkajian Ilmu dan Pembelajaran Matematika dan IPA IKIP Mataram*, 9(2), 152. <https://doi.org/10.33394/j-ps.v9i2.2923>
- Jannah, M., Khaldun, I., & Safrida, S. (2020). Application of virtual laboratory-assisted discovery learning model to improve science process skills and learning outcomes in circulatory system material. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 7(1), 34–40. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v7i1.470>
- Jua, S. K., & M. H. A. (2023). Pelatihan PhET simulations bagi guru guna mendukung kegiatan belajar dan laboratorium virtual. *JPM: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 2(2), 227. <https://doi.org/10.52434/jpm.v2i2.2850>
- Laksono, P., Wicaksono, A., & Habisukan, U. H. (2023). Pendampingan pemanfaatan simulasi PhET sebagai media interaktif virtual laboratorium di MTs Tarbiyatussibyan. *Jurnal Anugerah*, 4(2), 179–192. <https://doi.org/10.31629/anugerah.v4i2.4843>
- Muslim, A. Q., Hermawan, H., Cahyasari, E., & Fanani, M. A. (2022). Virtual laboratory: An alternative method of practicum learning in higher education during the COVID-19 pandemic. *Journal of Education Technology*, 6(2), 226–236. <https://doi.org/10.23887/jet.v6i2.41629>
- Rararati, P. A., Nuroso, H., Kurniawan, A. F., & Kurniawan, A. F. (2025). Kajian literatur: Penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran fisika. *Lontar Physics Today*, 3(2), 45–

54. <https://doi.org/10.26877/lpt.v3i2.21838>

- Resesi Anto, A., Firdaus, T., Widayanti, W., & Rosa Sinensis, A. (2022). Laboratorium virtual (*PhET* simulation): Peningkatan kemampuan analisis siswa pada materi gelombang mekanik. *U-Teach: Journal Education of Young Physics Teacher*, 2(2), 73–77. <https://doi.org/10.30599/uteach.v2i2.44>
- Sahara, L., Alkamalia, W., & Ute, N. (2024). Pelatihan praktikum laboratorium virtual berbasis *PhET* simulation pada siswa SMA Kartika XX-2 Kendari. *Journal of Community and Empowerment*, 3, 1–6.
- Saputri, A. A. (2021). Student science process skills through the application of computer-based scaffolding assisted by *PhET* simulation. *At-Taqaddum*, 13(1), 21–38. <https://doi.org/10.21580/at.v13i1.8151>
- Sujono, R. N., Maryati, M., & Jumadi, J. (2023). Science virtual laboratory implementation to improve students' critical thinking skills: A content analysis. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(6), 190–195. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i6.2810>
- Ulfa, S. M., 'Ardhuha, J., & Sahidu, H. (2022). Pengembangan perangkat pembelajaran model inkuiri terbimbing berbantuan simulasi *PhET* untuk meningkatkan keterampilan proses sains peserta didik. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Teknologi*, 8(Special Issue), 67–75. <https://doi.org/10.29303/jpft.v8ispecialissue.3759>
- Yulianita, N., Jalmo, T., & Abdurrahman, A. (2018). Developing a virtual laboratory for the materials on optics to increase junior high school students' learning outcomes. *Journal of Science Education Research*, 2(2), 80–84. <https://doi.org/10.21831/jser.v2i2.22478>
- Yusuf, M., Yunginger, R., & Nainggolan, R. (2024). Quality of physics teaching module based on problem-based learning model integrated with *PhET* simulation on energy and its transformation. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 10(6), 3007–3016. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i6.7037>