

PENINGKATAN KETERAMPILAN *STEM* SISWA MELALUI PEMBELAJARAN IPA INTERAKTIF DENGAN APLIKASI PhET

**Hamidatul Muyasaroh ^{*1)}, Cindy Dewi Anggraeni ²⁾, Nova Nabila Ayu Sanaya ³⁾,
Intan Dwi Yuswanti ⁴⁾, Roufatul Mucharromah ⁵⁾, Firdha Yusmar ⁶⁾**

^{1,2,3,4,5,6)}Prodi Pendidikan IPA, FKIP, Universitas Jember, Jawa Timur, Indonesia.

**Corresponding author*

e-mail: hamidatulmuyasaroh4@gmail.com ^{*1)}, cindydewianggraeni80@gmail.com ²⁾,
novanabila1604@gmail.com ³⁾, dwi0639@gmail.com ⁴⁾, roufatul100304@gmail.com ⁵⁾,
firdhayusmar.fkip@unej.ac.id ⁶⁾

Article history:

Submitted: June 20th, 2024; Revised: July 25th, 2024; Accepted: Aug. 27th, 2024; Published: Jan. 15th, 2025

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menyelidiki efektivitas penggunaan aplikasi PhET dalam pembelajaran IPA interaktif untuk meningkatkan keterampilan STEM siswa melalui metode studi literatur berjenis *narrative review*. Pembelajaran Sains, Teknologi, Rekayasa, dan Matematika (STEM) menjadi fokus utama dalam pengembangan kurikulum pendidikan, dan penggunaan teknologi dalam pendidikan telah menjadi aspek penting dalam meningkatkan keterampilan siswa di bidang ini. Aplikasi PhET, yang menawarkan simulasi interaktif untuk memahami konsep-konsep ilmiah yang kompleks, semakin populer dalam pembelajaran IPA. Dengan meninjau literatur yang relevan, penelitian ini menganalisis dampak aplikasi PhET dalam meningkatkan pemahaman dan keterampilan siswa dalam konsep sains, serta kontribusinya terhadap peningkatan keterampilan STEM. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi PhET memainkan peran penting dalam memperkuat keterampilan STEM siswa dengan menyediakan lingkungan pembelajaran yang interaktif dan mendalam. Temuan ini menegaskan pentingnya integrasi teknologi dalam pembelajaran STEM untuk meningkatkan pemahaman dan keterampilan siswa.

Kata Kunci: keterampilan *STEM*; pembelajaran IPA; aplikasi PhET

PENDAHULUAN

STEM adalah pendekatan pembelajaran yang berkaitan dengan *science, technology, engineering, and mathematics*. Pembelajaran STEM telah diterapkan di berbagai materi seperti materi biologi, kimia, dan fisika. STEM tersebut memiliki arti yang spesifik sesuai dengan pengkajiannya. Sains sendiri merupakan ilmu yang mempelajari tentang alam semesta yang berhubungan dengan kimia, biologi, dan fisika. Teknologi sendiri merupakan bidang yang melibatkan penerapan pengetahuan dan keterampilan manusia sehingga menghasilkan suatu produk atau aktivitas yang bermanfaat bagi orang. Teknik sendiri merupakan suatu

proses perancangan sebuah produk dan matematika sendiri yaitu untuk membantu menafsirkan dan menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan proses perancangan (Oktavia, 2019). STEM juga melibatkan keterampilan berpikir kritis, yang diajarkan di sekolah. Keterampilan berpikir kritis adalah cara berpikir yang menunjukkan keterampilan berpikir dan keterampilan dalam memecahkan masalah. STEM membantu siswa menemukan masalah berdasarkan hal-hal yang ada di lingkungan mereka. Pendidikan STEM dapat meningkatkan kemampuan untuk menganalisis dan memecahkan masalah dunia nyata (Ritongga dan Zulkarnaini, 2021).

Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) merupakan salah satu bidang studi yang sangat relevan dalam pendekatan STEM. Mata pelajaran IPA diajarkan di semua jenjang pendidikan, mulai dari pendidikan anak usia dini hingga pendidikan tingkat tinggi. Materi yang dibahas dalam IPA meliputi berbagai aspek alam dan makhluk hidup, yang dapat memotivasi peserta didik dengan kecerdasan naturalis dalam proses pembelajaran. Dalam pembelajaran IPA, terdapat beberapa materi yang dapat dipraktikkan oleh pendidik bersama dengan peserta didik, seperti sistem organ, kelistrikan, getaran dan gelombang, serta struktur tumbuhan. Meskipun demikian, ada hal-hal yang belum dapat diamati secara langsung. Sebagai contoh, meskipun peserta didik dapat mendefinisikan konsep-konsep tersebut berdasarkan alat peraga yang ada, mereka belum dapat mengamati langsung aliran arus listrik dan pergerakan elektron dalam penghantar (Novita *et al.*, 2022).

Salah satu model pembelajaran yang mendukung pendekatan STEM dalam IPA adalah *Discovery Learning*, yang memungkinkan siswa untuk aktif menemukan dan menyelidiki sendiri sehingga hasil yang didapat akan bertahan lama dalam ingatan (Widana *et al* (2019) dalam Widia (2020)). Model pembelajaran *discovery learning* salah satunya seperti simulasi PhET. Simulasi PhET merupakan software gratis yang digunakan untuk menstimulasi interaktif fenomena fisis berbasis riset untuk ilmu fisika, ilmu kimia, ilmu biologi, ilmu matematika dan ilmu kebumihan. Media pembelajaran simulasi PhET dapat digunakan untuk simulasi perubahan dan pengolahan data yang bervariasi dan dapat mengajak siswa untuk belajar dengan cara mengeksplor secara

langsung. Berbagai simulasi PhET yang canggih akan sangat membantu meningkatkan pemahaman konsep sains yang dimiliki peserta didik (Riku, 2021).

Terdapat penelitian yang sudah dilakukan terkait pembelajaran IPA dengan STEM. Dengan adanya pembelajaran IPA berbasis STEM bisa meningkatkan keterampilan peserta didik dan pendidik. Pendidikan IPA memainkan peran penting dalam pembentukan SDM yang unggul, baik secara *soft skill* maupun *hard skill*. Melalui pendekatan STEM, siswa diarahkan untuk membuat karya yang dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang berkaitan dengan kehidupan sehari-hari (Hermansyah, 2020). Menurut Haryanti dan Suwarma (2018) dalam artikelnya juga menuliskan bahwa adanya pembelajaran STEM keterampilan komunikasi siswa secara umum sudah cukup baik. Sebagian peserta didik yang mempunyai keterampilan komunikasi secara tertulis pada kategori intermediate. Sedangkan komunikasi secara lisan, peserta didik perlu ditingkatkan kembali.

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah studi literatur berjenis *narrative review*. Dalam *narrative review*, peneliti menganalisis literatur yang telah dipublikasikan sebelumnya untuk mendapatkan pemahaman yang komprehensif tentang topik penelitian (Putri *et al.*, 2022). Langkah-langkahnya meliputi penentuan topik penelitian, pencarian literatur melalui database dan sumber-sumber terpercaya, seleksi serta evaluasi literatur yang relevan, dan analisis terhadap data yang terkumpul. Melalui proses ini, peneliti dapat mengidentifikasi hubungan, kesamaan, dan perbedaan antara informasi dari berbagai sumber untuk

mendukung tujuan penelitian. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam tentang penggunaan aplikasi PhET dalam pembelajaran IPA interaktif serta kontribusinya terhadap peningkatan keterampilan STEM siswa.

Sebagian besar guru masih menggunakan metode pembelajaran konvensional (ceramah) yang menyebabkan siswa belum mendapatkan keterampilan belajar yang baik utamanya siswa belum mendapatkan pembelajaran yang mendorong siswa dalam berpikir kreatif. Informasi dan Teknologi (IT) yang ada di sekolah kurang digunakan dalam proses pembelajaran utamanya pada pembelajaran IPA yang dapat membuat siswa senang dan semangat dalam mengikuti proses pembelajaran tersebut (Aldila *et al.*, 2017). Berdasarkan permasalahan yang ada tersebut, maka diperlukan langkah untuk peningkatan keterampilan STEM siswa melalui pembelajaran IPA interaktif dengan aplikasi PhET.

METODE

Metode yang digunakan dalam penulisan artikel ini adalah studi literatur berjenis *narrative review*. Menurut Putri, *et al* (2022) *narrative review* adalah metode penelitian yang menganalisis literatur yang telah dipublikasikan sebelumnya untuk menemukan temuan baru dalam topik yang diselidiki dengan menghindari plagiarisme. Pendekatan ini melibatkan pengumpulan dan analisis data dari berbagai sumber tertulis yang relevan, seperti buku, riset, prosiding seminar, dan sumber-sumber lainnya yang berkaitan dengan fokus penelitian. Langkah awal penelitian adalah menetapkan topik atau masalah yang akan

diselidiki, kemudian dilanjutkan dengan pencarian literatur melalui database *Google Scholar* dan buku teks dengan range tahun referensi yang dianalisis berdasarkan topik penelitian adalah 2015 sampai 2024. Setelah mengumpulkan sejumlah sumber yang relevan, dilakukan tahap seleksi dan evaluasi untuk menentukan sumber-sumber yang akan digunakan dalam penelitian. Data yang terkumpul kemudian dianalisis dengan cermat melalui proses membaca, memahami, dan menafsirkan informasi yang terdapat di dalamnya. Melalui analisis ini, peneliti bertujuan untuk mengidentifikasi hubungan, kesamaan, dan perbedaan antara informasi yang terdapat dalam berbagai sumber yang telah dikumpulkan. Penerapan metode studi literatur ini memungkinkan peneliti untuk mendapatkan pemahaman yang mendalam mengenai penggunaan aplikasi PhET dalam pembelajaran IPA interaktif dan kontribusinya terhadap peningkatan keterampilan STEM siswa. Penelitian ini dapat memberikan pemahaman yang komprehensif tentang topik yang diteliti serta menunjukkan bukti-bukti yang kuat terhadap temuan yang dihasilkan melalui penyusunan data dari berbagai sumber.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian dari berbagai literatur menghasilkan informasi-informasi terkait keterampilan STEM, pembelajaran IPA, dan aplikasi PhET dalam peningkatan keterampilan STEM siswa melalui pembelajaran IPA interaktif dengan menggunakan aplikasi PhET. Berikut referensi yang digunakan dalam penyusunan artikel ini yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Referensi dan Database

a. Keterampilan STEM

Referensi	Database
Verdian <i>et al</i> (2021), Arifin <i>et al</i> (2022), Abdi <i>et al</i> (2021), Insani <i>et al</i> (2021), Hensberry <i>et al</i> (2015), Muyassarah <i>et al</i> (2019)	Artikel dari google scholar
Wisma (2022)	Buku Teks

b. Pembelajaran IPA

Referensi	Database
Putra <i>et al</i> (2023), Rizaldi <i>et al</i> (2020), Sumarauw <i>et al</i> (2017), Laila (2020), Idris <i>et al</i> (2024), Prismasari <i>et al.</i> , (2019)	Artikel dari google scholar

c. Aplikasi PhET

Referensi	Database
Muzana <i>et al</i> (2021), Sulistiawati dan Prastowo. (2021), Rizaldi <i>et al</i> (2020), Narulita <i>et al</i> (2024) Harum <i>et al</i> (2020), Agustin dan Fanani (2024), Idris <i>et al</i> (2024), Sinaga <i>et al</i> (2023), Aini dan Afkarinah (2024)	Artikel dari google scholar

Efektivitas Penggunaan Aplikasi PhET dalam Pembelajaran IPA Interaktif

PhET (*Physics Education Technology*) adalah aplikasi open source yang membantu siswa dan guru memahami pelajaran matematika dan sains (fisika, kimia, biologi, bumi). Simulasi interaktif dari PhET dapat digunakan secara gratis dengan mendownload aplikasinya di internet, yang dapat ditemukan di <http://phet.colorado.edu>. Simulasi PhET adalah fenomena fisika berbasis sains yang meningkatkan pemahaman dan minat belajar siswa dengan menggabungkan fenomena dunia nyata dengan sains yang mendasarinya. Simulasi PhET adalah alat yang dapat digunakan oleh guru untuk menjelaskan materi kepada siswa secara lebih mudah. Simulasi ini tersedia untuk digunakan baik secara *online* maupun *offline*, dan mampu mendemonstrasikan konsep-konsep yang sulit untuk dilihat dalam latihan laboratorium nyata. Penggunaan simulasi ini juga mempermudah penjelasan materi-materi yang bersifat abstrak agar lebih mudah dipahami oleh siswa. Selain fungsinya yang edukatif, desain visual simulasi PhET menarik dan sesuai dengan konteks pengajaran, membuatnya mirip dengan alat laboratorium asli yang digunakan selama proses belajar (Arifin *et al.*, 2022).

Simulasi PhET adalah suatu alat interaktif yang digunakan dalam pembelajaran sehingga dapat meningkatkan pemahaman IPA siswa di tingkat SMP. Dengan simulasi ini, guru dapat berkesempatan untuk memberikan kesempatan bagi siswa dalam menjelajahi materi secara mandiri, memperkenalkan konsep IPA kepada siswa, dan mendorong siswa untuk mengaplikasikannya dalam kehidupan sehari-hari. Penggunaan simulasi PhET dalam pembelajaran memungkinkan siswa dapat terlibat aktif

dalam proses pembelajaran, menerapkan keterampilan dalam penelitian yang lebih mendalam, serta meningkatkan pemahaman siswa pada materi IPA (Aini dan Avkarinah, 2024).

PhET digunakan karena beberapa alasan, yaitu tidak adanya fasilitas ujian di sekolah, selain karena laboratorium virtual memungkinkan pengamatan aspek-aspek abstrak yang tidak dapat diamati melalui eksperimen langsung dan kondisi saat ini yang mendukung pembelajaran jarak jauh atau online. Laboratorium virtual memiliki beberapa keunggulan: a) Memungkinkan siswa melakukan eksperimen baik secara individu maupun kelompok di mana saja dan kapan saja untuk meningkatkan kualitas eksperimen siswa. b) Meningkatkan efisiensi pembelajaran dimana siswa menghabiskan lebih banyak waktu berulang-ulang di laboratorium virtual. c) Kurangi batas waktu jika tidak ada cukup waktu untuk bereksperimen dengan siswa di laboratorium (Insani *et al.*, 2021).

Salah satu aspek yang membuat PhET begitu kuat adalah kemampuannya untuk memberikan visualisasi konsep ilmiah yang dinamis dan interaktif. Misalnya, dalam fisika, simulasi seperti "*The Ramp: Forces and Motion*" memungkinkan siswa melihat dan mengubah variabel secara langsung seperti sudut kemiringan dan massa benda, serta mengamati efeknya secara real time. Ini membantu siswa memahami hubungan sebab-akibat yang mungkin sulit dipahami hanya dengan penjelasan verbal atau teks statis. Dengan berinteraksi langsung dengan simulasi, siswa dapat memperoleh pemahaman lebih mendalam tentang konsep dasar fisika seperti gaya, gerak, dan

energi. Selain itu PhET juga efektif karena mendukung pembelajaran berbasis inkuiri. Siswa didorong untuk mengeksplorasi simulasi, membuat prediksi dan melakukan eksperimen virtual. Pendekatan ini mengedepankan pembelajaran aktif, dimana siswa tidak hanya menerima informasi secara pasif, namun juga terlibat langsung dalam proses pembelajaran. Dengan cara ini, siswa dapat mengembangkan pemikiran kritis dan analitis yang penting dalam sains.

Penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran PhET berbasis inkuiri dapat meningkatkan pemahaman konseptual siswa secara signifikan dibandingkan dengan metode pembelajaran tradisional. Menggunakan PhET juga meningkatkan keterlibatan dan motivasi siswa. Simulasi yang interaktif dan imersif dapat membuat konsep sains yang kompleks menjadi lebih mudah diakses dan menyenangkan. Hal ini sangat penting dalam konteks pendidikan sains, dimana siswa seringkali takut akan kompleksitas materi. PhET memungkinkan siswa untuk belajar dalam lingkungan yang aman dan mendukung di mana mereka dapat membuat kesalahan dan belajar dari kesalahan tersebut tanpa tekanan. Hal ini membantu meningkatkan rasa percaya diri siswa terhadap kemampuannya dalam memahami dan memperoleh materi ilmiah.

Penelitian yang dilakukan oleh Sumarauw *et al* (2017) juga menunjukkan bahwa perangkat pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing yang dilengkapi dengan simulasi PhET dalam pembelajaran IPA telah terbukti memenuhi kriteria kevalidan, kepraktisan, dan keefektifan. Perangkat ini tidak hanya valid secara akademis dengan konten dan metode yang sesuai standar pendidikan, tetapi juga praktis digunakan

oleh guru dan siswa. Keefektifannya dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep IPA menjadikan perangkat ini pilihan yang tepat untuk diterapkan dalam pendidikan modern. Simulasi PhET yang digunakan dalam pendekatan inkuiri terbimbing tidak hanya menjelaskan konsep-konsep IPA secara interaktif dan menarik, tetapi juga meningkatkan minat dan motivasi belajar siswa secara signifikan. Dengan demikian, penggunaan simulasi PhET dalam pendidikan ilmu pengetahuan tidak hanya memberikan pemahaman konseptual yang lebih baik bagi siswa, tetapi juga memberikan pengalaman pembelajaran yang mendalam dan bermakna. Simulasi PhET telah membuktikan diri sebagai alat yang inovatif dan efektif dalam mendukung pendidikan sains modern.

Sebuah penelitian Suhandi (2009) menunjukkan bahwa penggunaan lingkungan simulasi dalam PhET lebih efektif dalam mengurangi kesalahpahaman siswa terhadap eksperimen rangkaian listrik dibandingkan dengan penggunaan alat peraga fisik. Penyebab berkurangnya kesalahpahaman ini mungkin terkait dengan kemampuan simulasi PhET dalam menggambarkan fenomena mikroskopis dan abstrak dalam konteks dunia nyata, berbeda dengan penggunaan alat peraga konvensional. Sebagai contoh, ketika menjelaskan konsep perbedaan kecerahan dengan variasi nilai resistansi, alat bantu visual tidak mampu mengilustrasikan arus yang mengalir melalui setiap komponen rangkaian. Permasalahan tersebut dapat menyulitkan siswa dalam membangun pemahamannya sendiri karena masih ragu dengan konsep yang dipelajari. Pernyataan tersebut didukung oleh Putra (2016) bahwa solusi alternatif untuk memvisualisasikan

model mekanisme fisik fenomena tersebut hingga ke tingkat mikro adalah dengan pemanfaatan lingkungan belajar yaitu simulasi PhET (Rizaldi *et al.*, 2020).

Hasil dari penelitian Idris *et al* (2024) memberikan bukti tambahan bahwa penggunaan PhET Simulations sebagai media pembelajaran terbukti berhasil meningkatkan minat belajar IPA di kalangan peserta didik. Data dari survei minat belajar menunjukkan peningkatan yang signifikan, di mana persentase siswa dengan minat belajar tinggi meningkat dari 75% pada siklus awal menjadi 95% pada siklus berikutnya. Selain itu, hasil pengamatan dan wawancara menunjukkan bahwa peserta didik lebih aktif, antusias, dan termotivasi selama proses pembelajaran menggunakan PhET Simulations. Dengan visualisasi yang jelas dan interaktif, PhET Simulations membantu memfasilitasi pemahaman konsep-konsep IPA, secara keseluruhan memperlihatkan bahwa penggunaan media pembelajaran ini sangat efektif dalam meningkatkan minat serta motivasi belajar siswa.

Dampak Penggunaan Aplikasi PhET terhadap Peningkatan Keterampilan STEM Siswa

Pembelajaran STEM (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) yaitu suatu pendekatan pendidikan yang menggabungkan keempat bidang keilmuan tersebut ke dalam kurikulum untuk meningkatkan pemahaman, keterampilan, dan minat siswa terhadap bidang tersebut. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk membekali siswa dengan pemikiran kritis, keterampilan pemecahan masalah, kreativitas, dan keterampilan kolaborasi

untuk menghadapi tantangan abad ke-21. Pendekatan STEM menekankan pengalaman belajar interaktif dan langsung yang memungkinkan siswa memperdalam pemahaman konsep melalui eksperimen dan penerapan di dunia nyata. Pembelajaran STEM seringkali menggunakan teknologi canggih seperti perangkat lunak simulasi, robotika, dan perangkat keras lainnya. Hal ini membantu siswa untuk memahami alat-alat teknologi yang relevan dengan dunia kerja (Verdian *et al.*, 2021).

Melalui pembelajaran IPA diharapkan peserta didik menjadi problem solver yang menguasai materi ilmiah secara konseptual dan memahami fenomena alam disekitarnya secara ilmiah serta mampu menerapkan konsep ilmiah dalam kehidupan. Dengan membawa isu-isu global ke dalam pembelajaran sains, siswa dapat mengkaji dan menyelidiki permasalahan sosial yang ada secara ilmiah dan terpadu. Untuk mencapai tujuan tersebut diperlukan pendekatan terpadu, salah satunya adalah pendekatan Science, Technology, Engineering and Mathematics (STEM) (Prismasari *et al.*, 2019).

STEM adalah pendekatan interdisipliner pembelajar yang mana konsep dan teori diintegrasikan dengan peristiwa nyata saat siswa menerapkan sains, teknologi, teknik, dan matematika yang membuat koneksi antara sekolah, komunitas, pekerjaan dan perusahaan yang memungkinkan dalam ekonomi baru. Tujuan pendidikan STEM adalah untuk menerapkan konten dasar dari disiplin ilmu dan praktik disiplin STEM pada kehidupan nyata. Kurikulum tersebut harus memberikan keterampilan dalam mendapatkan informasi, tidak hanya

memberikan siswa pengetahuan tentang konsep (Nugroho *et al* 2019).

Menurut Mawarni & Sani, 2020 (dalam jurnal Putra *et al*, (2023)) perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi (IPTEK) telah membawa dampak besar dalam segala bidang kehidupan, tak terkecuali pendidikan. Pendidikan memiliki tujuan penting untuk membuat potensi sumber daya manusia yang dimiliki menjadi semakin berkembang dan mencerdaskan kehidupan bangsa. Menurut Rohmantika & Kurniawan, 2021 (dalam jurnal Putra *et al*, (2023)) pendidikan mempunyai dampak yang besar terhadap pembangunan suatu negara karena negara dengan kualitas pendidikan yang baik akan semakin melihat perkembangan negaranya. Oleh karena itu, melalui perkembangan pada abad 21 ini generasi muda yang kreatif, aktif, dan terdidik sangat dibutuhkan. Generasi muda diharapkan mampu berpikir kreatif, baik secara kelompok maupun individu, serta menyelesaikan masalah dengan memahami konsep masalahnya.

Menurut Muyassarah *et al* (2019) upaya efektif yang dapat dilakukan untuk mengembangkan dan meningkatkan keterampilan di abad 21 melalui inovasi dalam proses pembelajaran adalah dengan mengintegrasikan proses pembelajaran ke dalam pembelajaran STEM. STEM berfokus pada beberapa elemen proses pembelajaran: 1) memberi pertanyaan dan mengidentifikasi masalah, 2) membuat dan menggunakan model, 3) mengorganisir dan melakukan penelitian, 4) melaksanakan analisis dan menganalisis data, 5) memberikan kemampuan yang dimiliki mengenai ilmu komputer, informasi, dan pemanfaatan teknologi komputer dan

matematika 6) menetapkan kebenaran (ilmu pengetahuan) dan menemukan cara menyelesaikan masalah 7) Membuat argumentasi berdasarkan fakta 8) mengumpulkan, mengevaluasi, menyebarkan informasi (Putra *et al.*, 2023).

Pendekatan STEM berbasis simulasi untuk PhET ini menempatkan siswa sebagai pusat proses pembelajaran, dan penerapannya memungkinkan pemahaman yang lebih baik tentang konsep materi fisika. Dengan demikian, simulasi PhET sangat efektif dalam mengoptimalkan hasil belajar siswa. Solusinya adalah inovasi pembelajaran yang dapat mengatasi permasalahan sekolah secara online. Tujuannya adalah untuk menjamin kelanjutan latihan fisik. Latihan jasmani mempunyai peranan yang sangat penting dalam melatih tingkat kognitif dan psikomotorik siswa. Oleh karena itu, penerapan praktik laboratorium yang minim dapat digantikan dengan latihan virtual. Pelatihan virtual dapat digunakan pada komputer atau smartphone yang mendukung proses pembelajaran (Abdi *et al.*, 2021)

Penggunaan aplikasi PhET (*Physics Education Technology*) memberikan dampak positif terhadap peningkatan keterampilan STEM (Sains, Teknologi, Rekayasa, dan Matematika) siswa. Penggunaan aplikasi PhET adalah salah satu solusi untuk mengatasi kebosanan siswa dan merupakan sebuah inovasi baru dalam pembelajaran IPA. Media simulasi PhET adalah media komputer yang didalamnya terdapat animasi fisika, biologi, dan sains lain dalam format blog. PhET mencakup simulasi teoritis dan eksperimental dimana pengguna berpartisipasi secara aktif dan dapat

berinteraksi dengan aktivitas yang berhubungan dengan praktikum. Selain kemampuan menciptakan konsep, PhET juga bisa digunakan untuk mengembangkan keterampilan ilmiah. Aplikasi ini dapat digunakan sebagai media praktikum virtual. Aplikasi PhET dapat membantu pembelajaran yang lebih interaktif dengan adanya simulasi yang memungkinkan siswa melakukan eksperimen virtual. Hal tersebut dapat membuat siswa mendapatkan pemahaman yang lebih dalam mengenai konsep-konsep abstrak dalam sains dan matematika karena mereka melihat secara langsung dan memanipulasi variabel dalam eksperimen. Selain itu, siswa dapat mempertahankan ingatan dan pemahaman mereka lebih lama. Aplikasi PhET dapat mengembangkan keterampilan teknologi siswa, karena dengan menggunakan aplikasi PhET siswa dapat memahami cara menggunakan perangkat lunak, navigasi antarmuka digital, dan menggunakan simulasi sebagai alat pembelajaran. Aplikasi PhET dapat digunakan secara offline maupun online. Artinya siswa tidak terikat dengan ruang kelas yang monoton. Jika siswa ingin menggunakannya secara offline, maka harus mengunduh aplikasinya terlebih dahulu dan menyimpannya ke laptop/komputer/perangkatnya. PhET menawarkan banyak fitur yang dapat dipilih sesuai kebutuhan. Peran guru hanyalah membuat skenario pembelajaran dan melengkapi Lembar Kerja Siswa (LKPD) sebagai acuan dan pedoman belajar siswa (Wisma, 2022).

Keterampilan proses ilmiah merupakan seperangkat keterampilan untuk mengkaji suatu peristiwa alam dengan cara tertentu untuk memperoleh ilmu pengetahuan. Keterampilan proses ilmiah

dikelompokkan menjadi dua bidang, yang pertama basics skill (keterampilan dasar yang meliputi mengamati, mengukur, mengelompokkan, mengkomunikasikan, memprediksi, dan menyimpulkan. Keterampilan integrated skills yaitu keterampilan terpadu. Tingkat ini mencakup kemampuan mengendalikan variabel, menafsirkan data, merumuskan hipotesis, menjelaskan variabel dengan operasional, dan merancang eksperimen. Keterampilan proses ilmiah dapat dikembangkan melalui kegiatan eksperimen. Penggunaan aplikasi PhET dapat meningkatkan metode eksperimen ilmiah siswa seperti merencanakan eksperimen, mengumpulkan data, dan menganalisis hasil. Simulasi ini memungkinkan siswa untuk mencoba skenario yang berbeda dan melihat efeknya secara langsung, sehingga memperdalam pemahaman mereka tentang metode ilmiah (Verdian *et al.*, 2021).

Aplikasi PhET mampu meningkatkan kemampuan siswa dalam menyelesaikan masalah dengan mengaktifkan siswa pada proses pemecahan masalah. Mengintegrasikan projek base learning menggunakan aplikasi PhET dengan pendekatan STEM merupakan inovasi yang relevan dalam upaya peningkatan berpikir kritis siswa terlebih dalam pembelajaran IPA. STEM sebagai inovasi pendekatan pembelajaran pada era revolusi saat ini mendukung perkembangan kemampuan berpikir kritis siswa melalui pengalaman belajar yang dibungkus menjadi satu (Agustin dan Fanani, 2024).

Aplikasi PhET dapat meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa dalam belajar. Simulasi yang menarik dan

interaktif meningkatkan minat serta keterlibatan siswa terhadap materi pelajaran sehingga menghasilkan hasil belajar yang meningkat. Penggunaan aplikasi PhET dapat melatih pembelajaran secara mandiri dan juga secara kolaboratif untuk siswa. Siswa dapat mengeksplorasi konsep secara mandiri atau memperkuat keterampilan kolaborasinya dengan bekerja dalam kelompok untuk memecahkan masalah dan mendiskusikan hasilnya. Penggunaan aplikasi PhET sebagai media pembelajaran dalam pendidikan STEM dapat meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan teknologi, keterampilan ilmiah, dan motivasi siswa, sehingga memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan keterampilan STEM secara keseluruhan (Alfiah dan Dwikoranto, 2022).

Menurut penelitian oleh Abdi *et al* (2021) membuktikan bahwa berdasarkan Hasil analisis yang dilakukan menunjukkan bahwa pemahaman konsep umum siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan siswa pada kelas kontrol pada setiap indikatornya. Pembelajaran dengan pendekatan STEM menggunakan simulasi PhET sangat efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep siswa. Hal ini membuktikan bahwa proses pembelajaran menggunakan simulasi PhET dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa. Simulasi ini juga digunakan dalam penelitian (Khaerunnisak, *et al.*, 2018) yang menunjukkan bahwa simulasi PhET dapat meningkatkan pemahaman konsep siswa (Abdi *et al*, 2021).

Studi lain yang dilakukan oleh Narulita *et al* (2024) juga menyoroti bahwa penggunaan aplikasi simulasi PhET berpotensi memberikan dampak positif

terhadap peningkatan keterampilan STEM siswa. Simulasi PhET memungkinkan siswa mengembangkan pemahaman yang lebih baik terhadap konsep-konsep ilmiah secara lebih konkret dan mendalam. Dengan keterlibatan dalam eksplorasi virtual yang interaktif, siswa dapat melakukan eksperimen, observasi, dan memanipulasi variabel dalam lingkungan yang aman dan terkontrol. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa siswa yang menggunakan simulasi PhET cenderung lebih aktif dalam pembelajaran, memiliki motivasi yang tinggi untuk mengembangkan keterampilan STEM mereka, serta berhasil memperoleh pemahaman yang lebih mendalam terhadap konsep-konsep ilmiah.

Sudah banyak media pembelajaran yang tersedia untuk pembelajaran online. Salah satunya adalah Laboratorium Virtual (PhET). Pemanfaatan virtual lab ini juga mencakup solusi alternatif untuk melengkapi media yang dapat digunakan dalam proses pembelajaran jarak jauh atau online terhadap permasalahan pandemi Covid-19 saat ini. Beberapa jurnal unggulan menjelaskan bahwa pemanfaatan laboratorium virtual meningkatkan hasil belajar siswa dan berpengaruh terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa. Memasukkan laboratorium virtual berbasis STEM juga meningkatkan keterampilan pemecahan masalah (Laila, 2020).

PhET digunakan karena beberapa alasan. Pertama, karena sekolah tidak memiliki alat untuk melakukan eksperimen, dan kedua, laboratorium virtual memungkinkan kita mengamati aspek-aspek abstrak yang tidak dapat diamati dalam eksperimen langsung atau dalam situasi saat ini. Hal inilah yang

direkomendasikan untuk pembelajaran jarak jauh dan pembelajaran online (Laila, 2020)

Peran Aplikasi PhET dalam Menciptakan Lingkungan Pembelajaran Interaktif dan Mendalam

Guru yang berperan sebagai desainer pembelajaran diwajibkan bisa membuat sebuah metode pembelajaran yang aktif dan lebih mengarah ke peserta didik. Dalam suatu pembelajaran IPA, baiknya pendidik harus bisa menciptakan sebuah media belajar yang dapat memberikan suatu aksi nyata terhadap peserta didik. Pendidik juga harus mampu mempergunakan media interaktif yang dimanfaatkan untuk alat yang biasa digunakan sebagai penunjang kegiatan belajar mengajar. Guru pada saat menggunakan media pembelajaran pada saat proses kegiatan belajar mengajar bisa meningkatkan kegiatan belajar peserta didik, sehingga dengan adanya media pembelajaran yang sangat bermacam-macam tersebut, peserta didik diharapkan bersemangat dan tertarik dalam kegiatan proses belajar mengajar di kelas. Menurut Rusman (Dalam jurnal Sulistiawati & Prastowo, 2021) mengemukakan bahwa “Pembelajaran berbasis multimedia adalah penggunaan komputer untuk menghubungkan jaringan (link) dan perangkat (tools) untuk membuat dan menggabungkan teks, grafik, audio, dan animasi (video dan animasi) untuk membantu pengguna menavigasi, berinteraksi, dan menggunakan kreativitas peserta didik untuk berkomunikasi. Multimedia interaktif adalah kombinasi terintegrasi dari beberapa elemen seperti grafik, teks, video, foto, gambar, dan animasi antara orang/pengguna dan

komputer. Pada dasarnya media pembelajaran interaktif merupakan metode komunikasi dengan siswanya secara langsung (Sulistiawati dan Prastowo, 2021).

Menurut Ayu *et al.*, 2023 (dalam jurnal Sinaga *et al.*, (2023)) penggunaan media pembelajaran sangat mempunyai pengaruh yang signifikan untuk keberhasilan proses pembelajaran. Media pembelajaran yang digunakan untuk proses pembelajaran sangat memberikan kontribusi terhadap kelancaran, efektif dan efisien tercapainya tujuan pembelajaran. Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 22 Tahun 2016 mengenai Standar Proses Pendidikan Dasar dan Menengah menyatakan bahwa "Media pembelajaran mempermudah proses pembelajaran di berbagai kelas, sehingga merangsang minat belajar siswa dan memperbaiki situasi belajar serta menciptakan sesuatu yang selalu diingat oleh peserta didik". Keunggulan media pembelajaran dengan diikuti oleh kemajuan teknologi informasi serta komunikasi, guru pun perlu mengikuti kemajuan yang sama dalam memberikan bahan ajar. Guru diharapkan dapat menggunakan media pembelajaran yang menarik, menyenangkan, dan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran siswanya. Oleh karena itu, siswa dapat lebih mudah menerima pelajaran dari guru (Sinaga *et al.*, 2023).

Media pembelajaran yang tergolong kedalam media interaktif sesuai dengan penjelasan diatas yaitu PhET simulation (virtual lab). Hal tersebut dikarenakan PhET termasuk kedalam kategori yang terdapat unsur teks, animasi, gambar, selain itu peserta didik bisa berinteraksi bahkan

mengoperasikan suatu media pembelajaran sebagai alat untuk membantu suatu eksperimen virtual. PhET simulation dirancang dengan sangat baik. PhET *Simulation* ini berpusat kepada peserta didik dalam konsep dasar ilmiahnya. Dengan demikian peserta didik lebih mudah untuk memahami konsep soal yang pada umumnya terjadi pada kehidupan sehari-hari. Ketika terdapat beberapa hal yang tidak terduga terjadi, hal tersebut memunculkan keingintahuan peserta didik yang tinggi, dimana nantinya akan mengubah parameter dalam simulasi untuk meningkatkan dan mencari tahu pemahamannya melalui eksperimen PhET Simulation. PhET Simulation adalah sebuah website yang dirancang, dimana memungkinkan peserta didik menjelajahi dan menemukan hal yang tidak pernah dilakukan pada simulasi tersebut dan pada eksplorasi ini, peserta didik diharapkan menemukan gagasan tentang ilmu. Tujuan pengembangan perangkat lunak simulasi ini adalah untuk membantu peserta didik memvisualisasikan konsep secara lengkap dan jelas, memastikan pelatihan yang efektif dan penggunaan yang berkelanjutan. Di Dalam PhET Simulation tersebut terdapat lebih dari 80 pembelajaran interaktif untuk peserta didik (Sulistiawati dan Prastowo, 2021).

Menurut Wieman *et al.*, 2008 (dalam jurnal Sulistiawati dan Prastowo (2021)) dampak positif dari adanya pembelajaran interaktif menggunakan PhET Simulation yaitu:

1. Media simulasi PhET dapat memberikan peserta didik pemahaman konsep dasar sains yang lebih baik.

2. Pembelajaran terjadi melalui eksperimen, sehingga peserta didik merasa seperti ilmuwan dalam belajar.
3. Hal ini membuat pembelajaran lebih menarik karena siswa dapat belajar sekaligus bermain (2 in 1) dalam simulasi.
4. Dapat digunakan sebagai pendekatan pembelajaran yang memerlukan keterlibatan dan dialog dengan siswa.

Menurut Rizaldi, *et al* (2020) dalam jurnal Muzana, *et al* (2021) Hal ini dianalisis secara induktif berdasarkan data yang dikumpulkan. Berdasarkan analisis data dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa 1.) Media simulasi PhET efektif digunakan oleh pendidik dan peserta didik untuk mempelajari konsep fisika. 2.) Media simulasi PhET dapat dipadukan dengan baik dengan model pembelajaran berbasis penelitian. 3.) Media simulasi PhET mempunyai keunggulan mampu menjelaskan fisika abstrak secara efektif. Kelemahannya adalah implementasi di sekolah sangat bergantung pada unit komputasi yang tersedia (Muzana *et al.*, 2021).

Simulasi PhET membantu peserta didik melakukan aktivitas pengumpulan data dan fakta seperti yang mereka lakukan di laboratorium nyata, sehingga mereka dapat menggunakan data dan fakta tersebut untuk mempelajari konsep dasar sains yang ingin mereka pelajari. Simulasi PhET sendiri memberikan kesan menarik, positif dan menyenangkan serta membantu menjelaskan fenomena alam secara detail. Oleh karena itu, peserta didik belajar menggunakan simulasi PhET merasa menyenangkan dan mudah dipelajari. Ini

akan membantu pendidik untuk menarik perhatian peserta didik saat melakukan aktivitas belajar. Pembelajaran melalui simulasi PhET menarik peserta didik karena tidak hanya memungkinkan mereka memperoleh materi pembelajaran, tetapi juga memungkinkan mereka aktif melakukan kegiatan pembelajaran. Desain PhET seperti permainan yang disukai anak-anak (dapat dikatakan belajar sambil bermain) (Muzana *et al.*, 2021).

Menurut Penelitian (Hensberry *et al.*, 2015) mengemukakan bahwa penggunaan simulasi PhET yang dikombinasikan dengan fitur guru dan lembar aktivitas juga mendukung keterlibatan peserta didik dalam diskusi tentang ide-ide matematika, sehingga menghasilkan pembelajaran efektif yang menggabungkan teknologi masa kini. Media simulasi PhET cocok digunakan pada kegiatan eksplorasi laboratorium kelompok kecil. Simulasi PhET ini memungkinkan peserta didik untuk berkolaborasi dalam diskusi kelompok dan mengharuskan peserta didik untuk berbagi pendapat dan saran dengan peserta didik lain. Dengan kerjasama yang baik, peserta didik yang berprestasi rendah pun akan termotivasi untuk belajar. Sebab peserta didik yang terlibat langsung dalam proses pembelajaran lebih aktif, efisien, dan mampu berpikir lebih kritis. Meskipun terbukti tidak terdapat perbedaan hasil belajar yang besar/signifikan pada peserta didik yang menggunakan praktikum nyata dan simulasi PhET, namun peserta didik pada kelompok simulasi PHET memiliki Meskipun tidak perlu menghabiskan banyak waktu pada kegiatan kelompok terkait, siswa pada kelompok simulasi PHET memiliki perbedaan yang signifikan. Kelompok eksperimen nyata memiliki lebih

banyak waktu untuk berpikir, menganalisis dan berdiskusi (Muzana *et al*, 2021).

Menurut penelitian yang dikemukakan oleh (Harum *et al*, 2020) penggunaan media simulasi PhET sebagai media pembelajaran fisika ternyata dapat memotivasi siswa untuk melakukan pembelajaran. Harum mengungkapkan bahwa lebih dari 70% siswa terlibat aktif dan antusias terhadap pembelajaran. Penerapan dari RPP dengan menggunakan media simulasi PhET sebagai media pembelajaran juga dapat membantu siswa memahami materi tentang pembelajaran yang sedang diterangkan. Simulasi PhET dapat digunakan secara gratis baik online dan offline sehingga cukup mudah digunakan di dalam kelas. Simulasi ditulis dalam bentuk java dan flash sehingga dapat dijalankan dengan web standar selama program java dan flash diinstal pada komputer yang digunakan.

KESIMPULAN

Penggunaan aplikasi PhET dalam pembelajaran IPA interaktif terbukti efektif dalam meningkatkan keterampilan STEM siswa. PhET Simulations, sebagai perangkat lunak open source, memungkinkan siswa dan guru memahami pelajaran sains dengan lebih mudah melalui visualisasi konsep ilmiah yang dinamis dan interaktif. Dengan aplikasi ini, siswa dapat lebih memahami hubungan sebab-akibat yang kompleks dalam sains melalui eksperimen virtual yang realistis. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep ilmiah, tetapi juga keterampilan teknologi, pemikiran kritis, dan kemampuan analisis data. Implementasi PhET dalam pendidikan STEM membantu siswa mengembangkan keterampilan ilmiah yang diperlukan untuk

menghadapi tantangan abad ke-21. Secara keseluruhan, PhET berkontribusi positif terhadap peningkatan keterampilan STEM siswa dengan menyediakan alat yang efektif untuk pembelajaran interaktif dan eksperimen ilmiah.

REFERENSI

- Abdi, M. U., Mustafa, & Pada, A. U. T. (2021). Penerapan pendekatan STEM berbasis simulasi PhET untuk meningkatkan pemahaman konsep fisika peserta didik. *Jurnal IPA dan Pembelajaran IPA*, 5(3): 209-218. <https://doi.org/10.24815/jipi.v5i3.21774>
- Agustin, D. B., & A. Fanani. (2024). Pengaruh model PJBL Beerbasis STEM berbantuan media PhET terhadap kemampuan berpikir kritis siswa pembelajaran IPAS. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(2),5402-5410. <https://doi.org/10.31004/jrpp.v7i2.28040>
- Aini, K., & Z. I. Avkarinah. (2024). Implementasi simulasi interaktif PhET dalam pembelajaran muatan pada bendadi SMP tinjauan terhadap Efektivitas siswa. *Pendas: Jurnal Ilmiah Pendidikan Dasar*, 9(2), 3185-3200. <https://doi.org/10.23969/jp.v9i2.13860>
- Aldila, C., Abdurrahman, A., & Sesunan, F. (2017). Pengembangan LKPD berbasis STEM untuk menumbuhkan keterampilan berpikir kreatif siswa. *Jurnal Pembelajaran Fisika Universitas Lampung*, 5(4), 138491. <https://doi.org/10.33394/j-lkf.v5i2.137>
- Alfiah, S., & Dwikoranto. (2022). Penerapan model problem based learning berbantuan laboratorium virtual PhET untuk meningkatkan HOTS siswa SMA. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 13(1), 9-18. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v13i1.11494>

- Arifin, M. M., Prastowo, S. B., & Harijanto, A. (2022). Efektivitas penggunaan simulasi phet dalam pembelajaran online terhadap hasil belajar siswa. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 11(1),16-27. <https://doi.org/10.19184/jpf.v11i1.30612>
- Harum, C.L., Yusrizal., M.Syukri., C.Nurmaliah. 2020. Pengaruh model pembelajaran generatif berbasis PhET terhadap keterampilan berpikir kritis dan motivasi belajar siswa pada materi gelombang mekanik. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*. 8(2):164-174. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v8i2.15776>
- Haryanti, A., & Suwarma, I. R. (2018). Profil keterampilan komunikasi siswa SMP dalam pembelajaran IPA berbasis STEM. *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*, 3(1), 49-54. <https://doi.org/10.17509/wapfi.v3i1.10940>
- Hermansyah, H. (2020). Pembelajaran IPA berbasis STEM berbantuan ICT dalam meningkatkan keterampilan abad 21. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*,5(2),129-132. <https://doi.org/10.29303/jipp.v5i2.117>
- Idris, N. A., Arif, R. N. H., & Majid, N. (2024). Penerapan Media Pembelajaran Phet Simulation Pada Pembelajaran IPA untuk Meningkatkan Minat Belajar Peserta Didik Kelas VIII.D di SMP Negeri 22 Makassar. *JURNAL PEMIKIRAN DAN PENGEMBANGAN PEMBELAJARAN*, 6(2), 496-502. <https://doi.org/10.31970/pendidikan.v6i2.1114>
- Insani, S. N., Purwanto A., Risdianto, E. (2021). Pemanfaatan PhET sebagai media pembelajaran fisika berbasis STEM untuk menghadapi tantangan pendidikan pada masa pandemi Covid-19. *Jurnal Pendidikan Fisika*, 10(2),104-111. <https://doi.org/10.24114/jpf.v10i2.29178>
- Laila, S. I. (2020). Keefektifan penerapan laboratorium virtual (PhET) Berbasis STEM dan keterampilan penyelesaian masalah. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (SNF)* (Vol. 4, pp. 97-103).
- Muyassarrah, A., Ratu, T., & Erfan, M. (2019). Pengaruh Pembelajaran fisika berbasis STEM terhadap kemampuan motorik siswa. In *Prosiding snfa (seminar nasional fisika dan aplikasinya)* (Vol. 4, pp. 1-6).
- Muzana, S. R., Lubis, S. P. W., & Wirda, W. (2021). Penggunaan simulasi phet terhadap efektifitas belajar IPA. *Jurnal Dedikasi Pendidikan*, 5(1), 227-236. <https://doi.org/10.30601/dedikasi.v5i1.1587>
- Narulita, L., Rizqi, N. F., Wati, R., Amelia, S. D., & Alpian, Y. (2024). Penggunaan Media Simulasi PhET terhadap Hasil Belajar IPA Siswa di SD pada Materi Rangkaian Listrik. *El-Mujtama: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(3), 496-507. <https://doi.org/10.47467/elmujtama.v4i3.1640>
- Novita, K., Muharram, M., & Nuraeni, N. (2022). Aplikasi PhET Simulation Online sebagai Alternatif Kegiatan Praktikum dalam Pembelajaran IPA Kelas IX di SMP Kristen Terang Bangsa Semarang selama masa pandemi. *Global Journal Science IPA*,1(4),351-357. <https://doi.org/10.35458/ipa.v1i4.715>
- Nugroho, O. F., A. Permanasari, & H. Firman. (2019). Program belajar berbasis STEM untuk pembelajaran IPA. *Jurnal Eksakta Pendidikan*, 3(2), 117-125. <https://doi.org/10.24036/jep/vol3-iss2/328>
- Oktavia, R. (2019). Bahan ajar berbasis science, technology, engineering, mathematics (stem) untuk mendukung pembelajaran ipa terpadu. *Semesta: Journal of Science Education and Teaching*, 2(1), 32-36.
- Prismasari, D. I., Hartiwi, A., & Indrawati. (2019). Science, Technology, Engineering, and Mathematic (STEM) pada pembelajaran Ipa SMP.

- Seminar Nasional Pendidikan Fisika. 4(1): 43-45.
- Putra, N., Asrizal, & Usmeldi. (2023). Meta - analisis pengaruh STEM pada pembelajaran fisika terhadap pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kreatif siswa. *INKUIRI : Jurnal Pendidikan IPA*, 12(3), 228-239. <https://doi.org/10.20961/inkuiri.v12i3.79314>
- Putri, S. K., Rukmana, E. N., & Encang, S. (2022). Narrative Literature Review Penelitian Perpustakaan Digital Sebagai Sumber Pembelajaran Saat Covid-19 dalam Database Google Scholar. *Jurnal Perpustakaan Universitas Airlangga: Media Informasi Dan Komunikasi Kepustakawanan*, 12, 90-101. <https://doi.org/10.20473/jpua.v12i2.2022.90-101>
- Riku, M. (2021). Meningkatkan hasil belajar siswa kelas x ipa pada materi bentuk molekul melalui model pembelajaran discovery learning berbantuan phet simulations. *SECONDARY: Jurnal Inovasi Pendidikan Menengah*, 1(2), 79-87. <https://doi.org/10.51878/secondary.v1i2.132>
- Ritonga, S., & Zulkarnaini, Z. (2021). Penerapan pendekatan STEM untuk meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik. *Jurnal Studi Guru dan Pembelajaran*, 4(1), 75-81.
- Rizaldi, D. R., Jufri, A. W., & Jamaluddin, J. (2020). PhET: Simulasi interaktif dalam proses pembelajaran fisika. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 5(1), 10-14. <https://doi.org/10.29303/jipp.v5i1.103>
- Sinaga, G. H. D., Sitorus, P., & Ndruru, A. J. A. (2023). Pengaruh discovery learning terhadap hasil belajar siswa pada materi tekanan dengan bantuan PhET interactive simulation. *Jurnal Pendidikan Fisika Undiksha*, 13(3), 401-411. <https://doi.org/10.23887/jjpf.v13i3.69458>
- Sulistiawati, A., & Prastowo, A. (2021). Penggunaan Phet Sebagai Media Interaktif Pembelajaran Ipa Pada Kelas Iv Sekolah Dasar. *Jurnal Ilmiah PENDAS: Primary Educational Journal*, 2(2), 82-91. <https://doi.org/10.29303/pendas.v2i2.476>
- Sumarauw, J. M., Ibrahim, M., & Prastowo, T. (2017). Pengembangan perangkat pembelajaran berbasis inkuiri terbimbing berbantuan simulasi PhET dalam pembelajaran IPA. *Jurnal Penelitian Pendidikan*, 34(1), 25-36. <https://doi.org/10.15294/jpp.v34i1.10909>
- Verdian, F., Jadid, M. A., & Rahmani, M. N. (2021). Studi penggunaan media simulasi phet dalam pembelajaran fisika. *Jurnal Pendidikan Dan Ilmu Fisika*, 1(2), 39-44. <https://doi.org/10.52434/jpif.v1i2.1448>
- Widia, I Wayan. (2020). Penerapan Model Discovery Learning berbantuan Media PhET Untuk Meningkatkan Kompetensi Siswa. Indonesian. *Journal of Educational Development*, 1(2), 262-273. <https://doi.org/10.5281/zenodo.4004185>
- Wisma. (2022). *Aplikasi PhET, Pilihan Simulasi Pembelajaran IPA*. Nusa Tenggara Barat : Pusat Pengembangan Pendidikan dan Penelitian Indonesia.