

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Kajian Teori

1. Media Laboratorium Virtual

a. Definisi Laboratorium Virtual

Laboratorium virtual merupakan media pembelajaran berbasis perangkat lunak interaktif yang mensimulasikan pengalaman praktikum di laboratorium nyata. Salah satu rujukan utama, *Wandah Wibawanto (2020) dalam bukunya Laboratorium Virtual: Konsep dan Pengembangan Simulasi Fisika, menjelaskan istilah ini telah menjadi tren dalam satu dekade terakhir*. Ia menyatakan bahwa teknologi augmented reality dan virtual reality mendorong pengembangan laboratorium virtual dalam berbagai format, mulai dari aplikasi mobile hingga platform berbasis web, sehingga memungkinkan pengguna melakukan eksperimen seakan-akan berada di dunia nyata. Menurut Firdaus dan Effendi (2022), laboratorium virtual adalah media pembelajaran berbasis komputer yang dirancang menyerupai laboratorium fisika nyata, berfungsi untuk memperkuat penguasaan konsep dan keterampilan saintifik mahasiswa. Azizah, Nandiyanto, Kurniawan, dan Bilad (2022) mendefinisikan laboratorium virtual sebagai alat bantu pembelajaran interaktif dalam sistem pembelajaran

jarak jauh yang dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi eksperimen secara visual dan praktis.

Tawil, Rusli, Bakkara, dan Jatmiko (2024) menyatakan bahwa laboratorium virtual adalah media eksperimen digital yang digunakan dalam konteks pembelajaran berbasis praktikum untuk menumbuhkan sikap ilmiah dan keterampilan proses sains siswa. Sementara itu, Rahmi dan rekan-rekan (2022) menambahkan bahwa laboratorium virtual merupakan representasi lingkungan eksperimen yang dikembangkan secara digital dan berbasis pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics), bertujuan untuk mendukung pemahaman konsep serta pengalaman praktik sains siswa. Rosdiana, Suherman, dan Darman (2023) mendefinisikan laboratorium virtual sebagai simulasi digital dari proses eksperimen nyata, yang dapat diakses melalui perangkat lunak atau berbasis web, serta berfungsi sebagai pengganti praktikum konvensional dalam situasi terbatas.

Dari kelima pendapat tersebut, dapat disimpulkan bahwa laboratorium virtual merupakan media simulasi eksperimen ilmiah berbasis teknologi digital yang didesain menyerupai kondisi laboratorium nyata. Fungsinya adalah memfasilitasi pembelajaran berbasis eksperimen secara fleksibel, efisien, dan tetap berbasis ilmiah. Media ini tidak hanya menggantikan peran laboratorium fisik dalam kondisi darurat atau keterbatasan sarana, tetapi juga memperluas akses

siswa terhadap kegiatan praktik yang berkualitas dan berorientasi pada pengembangan keterampilan abad ke-21.

b. Sejarah Media Praktikum Jarak Jauh

Laboratorium virtual merupakan hasil dari proses panjang perkembangan teknologi pendidikan, khususnya yang berkaitan dengan pemanfaatan teknologi informasi dalam pembelajaran sains. Awal mula gagasan laboratorium virtual dapat ditelusuri sejak tahun 1960-an melalui pengembangan sistem pembelajaran berbasis komputer, seperti PLATO (*Programmed Logic for Automatic Teaching Operations*), yang dirancang di *University of Illinois*. Meskipun tidak secara eksplisit menjadi laboratorium sains, PLATO merupakan fondasi awal bagi munculnya simulasi digital dalam pendidikan yang kelak melahirkan konsep laboratorium maya atau laboratorium berbasis komputer.

Memasuki era 1980-an dan 1990-an, perkembangan komputer personal (PC) dan perangkat lunak grafis mendorong lahirnya simulasi eksperimen sains dalam bentuk sederhana. Beberapa perangkat lunak seperti *Interactive Physics* dan *Crocodile Physics* mulai digunakan untuk membantu siswa melakukan eksplorasi terhadap konsep-konsep fisika melalui pendekatan visual dan interaktif. Media ini belum sepenuhnya menggantikan peran laboratorium konvensional, tetapi mulai memperkenalkan konsep pembelajaran eksperimen yang tidak

memerlukan peralatan fisik. Hal ini sangat membantu sekolah atau institusi pendidikan yang memiliki keterbatasan fasilitas laboratorium.

Perkembangan yang lebih signifikan terjadi pada awal tahun 2000-an ketika akses terhadap internet semakin luas. Pada masa ini, lahirlah platform *PhET Interactive Simulations* dari *University of Colorado Boulder*, yang diprakarsai oleh Carl Wieman. *PhET* menyediakan simulasi interaktif berbasis Java dan HTML yang mencakup berbagai bidang ilmu seperti fisika, kimia, matematika, dan biologi. *PhET* memperkenalkan pendekatan eksperimen sains yang dapat dilakukan kapan saja dan di mana saja, tanpa bergantung pada keberadaan laboratorium fisik. Inisiatif ini diikuti oleh berbagai universitas dan lembaga pendidikan di dunia yang mulai mengembangkan laboratorium virtual sebagai bagian dari pembelajaran blended learning dan e-learning.

Pada dekade 2010-an, laboratorium virtual semakin berkembang pesat. Tidak hanya berbasis desktop, banyak laboratorium virtual mulai diakses melalui platform daring (online), yang dapat terintegrasi dengan sistem manajemen pembelajaran (*Learning Management System/LMS*). Media praktikum virtual kini tidak hanya menampilkan simulasi prosedural, tetapi juga mencakup instrumen penilaian otomatis, bank soal eksperimen, video interaktif, hingga fitur kolaboratif antar siswa. Laboratorium virtual menjadi bagian integral dari pembelajaran sains berbasis pendekatan konstruktivistik, inkuiri,

dan *STEM*. Perangkat seperti *Labster*, *Virtual Physics Lab (ViPhyLab)*, dan berbagai aplikasi berbasis web menjadi rujukan utama dalam pelaksanaan praktikum jarak jauh yang kredibel.

Puncak pemanfaatan laboratorium virtual terjadi selama pandemi COVID-19 pada tahun 2020 hingga 2022. Dalam situasi pembelajaran yang sepenuhnya dilaksanakan dari rumah, laboratorium virtual menjadi solusi utama dalam menggantikan keterbatasan kegiatan praktikum tatap muka. Banyak sekolah dan perguruan tinggi mengadopsi atau mengembangkan platform laboratorium virtual sendiri. Di Indonesia, beberapa produk lokal mulai dikembangkan, salah satunya adalah *RelaPhy*, yang ditujukan untuk pembelajaran fisika di tingkat SMA. Berbagai studi menunjukkan bahwa media ini tidak hanya efektif dalam meningkatkan keterampilan proses sains siswa, tetapi juga membangun sikap ilmiah serta memfasilitasi pemahaman konsep secara lebih mendalam (Rahmi et al., 2022; Tawil et al., 2024).

Hingga tahun 2024, laboratorium virtual terus dikembangkan baik dari segi tampilan antarmuka, keakuratan simulasi, maupun integrasi dengan kurikulum nasional. Pengembangan berfokus pada peningkatan aksesibilitas untuk sekolah di daerah yang minim fasilitas laboratorium serta penyempurnaan fitur agar lebih mudah digunakan oleh guru maupun siswa. Laboratorium virtual telah berevolusi dari media alternatif menjadi sarana utama dalam menyelenggarakan

pembelajaran berbasis eksperimen, khususnya di tengah keterbatasan sumber daya. Keberadaan media ini kini dipandang sebagai bagian penting dari inovasi pendidikan yang menjembatani kesenjangan infrastruktur laboratorium di berbagai satuan pendidikan.

c. Kegunaan Media Praktikum Jarak Jauh

Laboratorium virtual memiliki berbagai kegunaan strategis dalam mendukung pembelajaran sains, khususnya dalam konteks pendidikan modern yang menuntut fleksibilitas, efektivitas, dan keterjangkauan. Media ini tidak hanya menjadi solusi alternatif saat laboratorium fisik tidak tersedia, tetapi juga memberikan keunggulan pedagogis yang signifikan dalam mengembangkan keterampilan proses sains, sikap ilmiah, dan pemahaman konsep secara mendalam. Salah satu kegunaan utama laboratorium virtual adalah kemampuannya untuk menyediakan pengalaman eksperimen yang aman dan berulang. Siswa dapat mengulang percobaan tanpa batas, tanpa khawatir akan risiko kecelakaan, kerusakan alat, atau pemborosan bahan. Hal ini sangat berguna dalam pembelajaran konsep-konsep fisika yang bersifat abstrak dan memerlukan eksplorasi berulang, seperti hukum gerak, kalor, atau listrik dinamis.

Keunggulan tambahan disampaikan oleh Ožvoldová dan Schauer (2016) dalam buku *Remote Laboratories*, bahwa media praktikum ini merupakan sumber pendidikan STEM yang memungkinkan eksperimen laboratorium berbasis teknologi, memberikan pengalaman

penelitian nyata secara daring, sekaligus memperluas cakupan keterlibatan dan aksesibilitas siswa dalam pengajaran sains. Hal ini memperluas kesempatan belajar yang setara bagi seluruh peserta didik. Menurut Azizah et al. (2022), penggunaan laboratorium virtual dalam pembelajaran jarak jauh terbukti mampu meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi fisika secara signifikan, meskipun tanpa kehadiran fisik di ruang laboratorium.

Selain itu, laboratorium virtual memfasilitasi pendekatan pembelajaran berbasis inkuiri dan konstruktivisme. Siswa tidak hanya menerima informasi, tetapi secara aktif mengajukan pertanyaan, merancang eksperimen, menguji hipotesis, dan menarik kesimpulan. Proses ini mencerminkan praktik ilmiah yang sesungguhnya dan melatih siswa untuk berpikir kritis serta analitis. Dalam penelitian oleh Tawil et al. (2024), laboratorium virtual berbasis inkuiri terbukti meningkatkan keterampilan proses sains siswa secara signifikan, termasuk dalam aspek observasi, interpretasi, dan komunikasi ilmiah. Siswa menjadi lebih terlibat secara kognitif maupun afektif karena mereka memiliki kendali penuh atas eksperimen yang dilakukan.

Kegunaan berikutnya adalah dalam hal efisiensi waktu, biaya, dan sumber daya. Penggunaan laboratorium virtual mengurangi kebutuhan terhadap bahan kimia, alat eksperimen yang mahal, serta biaya perawatan laboratorium fisik. Guru juga dapat memanfaatkan simulasi untuk memperjelas konsep yang sulit atau tidak memungkinkan

dilakukan secara langsung di kelas, misalnya eksperimen dengan medan magnet kuat atau suhu ekstrem. Laboratorium virtual juga sering dilengkapi dengan fitur penilaian otomatis, grafik hasil pengukuran, serta integrasi langsung dengan sistem manajemen pembelajaran, sehingga proses pemantauan dan evaluasi pembelajaran menjadi lebih efektif dan sistematis.

Terakhir, laboratorium virtual mendukung pembelajaran mandiri dan fleksibel. Siswa dapat mengakses eksperimen kapan saja dan di mana saja sesuai dengan ritme belajar masing-masing. Kemandirian ini sangat penting dalam membentuk sikap tanggung jawab, kedisiplinan, dan motivasi internal siswa. Bahkan, guru dapat menggunakannya untuk pembelajaran diferensiasi, di mana setiap siswa diberikan tingkat kesulitan eksperimen yang sesuai dengan kemampuan dan kebutuhannya. Fleksibilitas dan adaptabilitas inilah yang menjadikan laboratorium virtual sangat relevan dalam pendidikan abad ke-21 yang menekankan pada penguasaan keterampilan berpikir tingkat tinggi (*higher-order thinking skills*), literasi digital, dan kemandirian belajar.

d. Daftar Media Praktikum Fisika

Salah satu laboratorium virtual fisika yang paling populer dan banyak digunakan secara internasional adalah PhET Interactive Simulations dari University of Colorado Boulder. Platform ini menyediakan berbagai simulasi interaktif berbasis HTML5 yang mencakup beragam topik fisika seperti gerak lurus, gaya, energi,

listrik, gelombang, dan termodinamika. Meskipun tidak berbasis perangkat fisik atau Internet of Things (IoT), PhET sangat efektif dalam menyampaikan konsep-konsep fisika melalui pendekatan visual yang intuitif dan dapat dimanipulasi langsung oleh pengguna. Penggunaan grafik, model interaktif, dan animasi dalam PhET mendukung pengembangan keterampilan proses sains, seperti observasi, interpretasi, dan perencanaan eksperimen. Kesamaan dengan *RelaPhy* terletak pada fleksibilitas akses, pendekatan berbasis eksperimen, dan kemampuan untuk digunakan dalam pembelajaran mandiri maupun terstruktur.

Platform Virtual Labs India juga menawarkan laboratorium virtual fisika yang tidak berbasis IoT, namun sangat kaya secara konten dan struktur. Program ini merupakan inisiatif pemerintah India yang bertujuan menyediakan media praktikum daring untuk siswa dan mahasiswa, terutama di bidang sains dan teknologi. Dalam ranah fisika, Virtual Labs India menyajikan berbagai simulasi eksperimen seperti hukum Newton, gaya pegas, osilasi harmonik, dan fenomena optik. Setiap eksperimen didukung oleh teori lengkap, animasi interaktif, panduan praktikum, serta lembar evaluasi. Meskipun percobaan dilakukan sepenuhnya secara digital, pengalaman pembelajaran yang diberikan sangat mendalam, memungkinkan siswa mengembangkan pemahaman konseptual dan keterampilan ilmiah secara bertahap. Platform ini memiliki kesamaan nilai pedagogis

dengan *RelaPhy* dalam hal pembelajaran kontekstual dan berbasis capaian hasil belajar.

PraxiLabs adalah laboratorium virtual yang menyediakan simulasi 3D interaktif dalam bidang fisika, kimia, dan biologi, dengan fokus yang kuat pada eksperimen fisika tingkat menengah hingga lanjutan. Simulasi fisika yang ditawarkan meliputi topik gaya sentripetal, hukum kekekalan momentum, listrik dinamis, dan dinamika partikel. Keunikan PraxiLabs adalah tampilan visualnya yang imersif, desain eksperimental yang menyerupai laboratorium nyata, serta fitur evaluasi otomatis yang terintegrasi dalam sistem. Meskipun tidak menggunakan perangkat IoT, PraxiLabs memberikan pengalaman eksperimen yang komprehensif dan mendukung penguatan keterampilan berpikir kritis, observasi kuantitatif, dan komunikasi ilmiah siswa. Platform ini serupa dengan *RelaPhy* dari sisi dukungan terhadap pembelajaran mandiri, analisis data eksperimen, dan integrasi pembelajaran berbasis hasil.

Sebuah platform laboratorium virtual fisika berbasis JavaScript dan Moodle juga dikembangkan oleh peneliti di Maroko untuk mendukung eksperimen daring yang selaras dengan kurikulum sekolah. Sistem ini memungkinkan siswa menjalankan praktikum fisika seperti gerak lurus, gaya pada bidang miring, dan gerak parabola melalui simulasi interaktif yang tertanam dalam Learning Management System (LMS) Moodle. Platform ini menyediakan dokumentasi data eksperimen, lembar kerja siswa, serta fitur evaluasi otomatis yang dapat diakses

guru secara real-time. Walaupun tidak menyertakan kendali perangkat fisik seperti dalam sistem IoT, laboratorium ini menekankan pembelajaran berbasis proses dan penguatan literasi ilmiah. Kesamaan dengan *RelaPhy* terletak pada pendekatan saintifik digital yang fleksibel dan mampu menjembatani keterbatasan sarana laboratorium fisik di sekolah.

2. Keterampilan Proses Sains

Keterampilan berarti kemampuan menggunakan pikiran, nalar, dan perbuatan secara efisien dan efektif untuk mencapai suatu hasil tertentu, termasuk kreativitas (Hadiana, 2011). Sedangkan proses dapat didefinisikan sebagai perangkat keterampilan kompleks yang digunakan ilmuan dalam melakukan penelitian ilmiah. Proses juga dapat diuraikan menjadi komponen-komponen yang harus dikuasai seseorang bila akan melakukan penelitian. (Setyandari 2021) Keterampilan proses sains merupakan keterampilan yang melibatkan segenap kemampuan siswa dalam memperoleh pengetahuan berdasarkan fenomena. Kemampuan siswa yang dimaksud ialah keterampilan mengamati, mengelompokkan, menafsirkan, memprediksi, mengajukan pertanyaan, berhipotesis, merencanakan percobaan, menerapkan konsep, berkomunikasi dan melaksanakan percobaan (Ainiyah et al. 2023)

Keterampilan proses sains dapat juga diartikan sebagai kemampuan atau kecakapan untuk melaksanakan suatu tindakan dalam belajar sains sehingga menghasilkan konsep, teori, prinsip, maupun hukum atau bukti.

Mengajarkan keterampilan proses sains pada siswa berarti memberikan kesempatan kepada mereka untuk melakukan sesuatu bukan hanya membicarakan sesuatu tentang sains (Widayanto 2009). Sejalan dengan itu (Nurhasanah 2014), mengatakan bahwa sesuai dengan karakteristiknya sains yang berhubungan dengan mencari ilmu tentang alam secara sistematis, bukan hanya fakta, konsep dan prinsip saja namun menekankan pada penemuan.

Tujuan dari Keterampilan Proses Sains itu sendiri adalah meningkatkan motivasi belajar dan hasil belajar para siswa, menuntaskan hasil belajar para siswa secara serentak, menentukan dan membangun sendiri konsepsi serta dapat mendefinisikan dengan benar, mencegah adanya miskonsepsi, memperdalam adanya konsep pengertian dan fakta yang peroleh, mengembangkan pengetahuan teori dan konsep dengan kenyataan dalam kehidupan Masyarakat.

Komponen keterampilan proses sains dibagi menjadi dua kelompok, keterampilan proses sains dasar dan keterampilan proses sains yang terintegrasi. Dua kelompok tersebut terdiri dari enam komponen dasar, diantaranya observasi, menyimpulkan, mengukur, berkomunikasi, mengelompokkan dan memprediksi. Serta enam komponen terintegrasi, yaitu mengontrol variable, mendefinisikan secara operasional, merumuskan hipotesis, menginterpretasikan, melakukan percobaan, dan merumuskan.

Pada penelitian ini berfokus pada empat keterampilan proses sains berkenaan dengan pengembangan aplikasi *RelaPhy* yaitu, mengamati atau observasi, interpretasi, merencanakan percobaan atau penelitian dan berkomunikasi. Hal tersebut untuk menunjukkan peningkatan proses sains yang secara langsung berkenaan dalam penggunaan *RelaPhy*. Berikut merupakan penjelasan masing – masing aspek Keterampilan Proses Sains.(Nuryani Y.R 2021)

a. Melakukan pengamatan

Menggunakan Indera pengelihatan, penciuman, pendengaran, pengecap dan peraba pada waktu mengamati. Sehingga peneliti menggunakan fakta yang sesuai dan memadai dari hasil pengamatan. Hal tersebut termasuk keterampilan proses sains.

b. Interpretasi

Mencatat setiap hasil observasi kedalam kata – kata. Menghubung – hubungkan hasil observasi tentang bentuk alat gerak dengan habitatnya menunjukkan bahwa siswa melakukan interpretasi. Begitu pula jika siswa menemukan pola atau keteraturan dari satu seri pengamatan tentang hal – hal yang telah dia observasi.

c. Merencanakan percobaan atau penyelidikan

Beberapa kegiatan menggunakan pikiran termasuk ke dalam keterampilan proses merencanakan penyelidikan. Pada lembar kegiatan siswa tidak dituliskan alat dan bahan secara khusus, tetapi tersirat dalam masalah yang dikemukakan, berarti siswa diminta

merencanakan dengan cara menentukan alat dan bahan untuk penyelidikan tersebut.

Menentukan variable atau perubah yang terlibat dalam suatu percobaan tentang pengaruh suatu variable terhadap variable lain juga termasuk kegiatan merancang penyelidikan. Selanjutnya menentukan variable control dan variable bebas, menentukan apa yang diamati, diukur atau ditulis serta menentukan cara dan Langkah kerja juga termasuk merencanakan penyelidikan

Penyusunan rencana kegiatan penelitian perlu ditentukan cara mengolah data untuk dapat disimpulkan, maka dalam merencanakan penyelidikan pun terlihat kegiatan menentukan cara mengolah data sebagai bahan untuk menarik Kesimpulan

d. Berkomunikasi

Membaca grafik, table atau diagram dari hasil percobaan tentang factor – factor yang mempengaruhi suatu variable dalam mata Pelajaran fisika. Menggambarkan data empiris dengan grafik, table atau diagram juga termasuk berkomunikasi. Selain itu, menjelaskan hasil percobaan juga masuk dalam aspek berkomunikasi, termasuk juga Menyusun dan menyampaikan laporan secara sistematis dan jelas.

Dalam penelitian penggunaan aspek tidak dapat dilaksanakan apabila tidak memiliki indicator yang jelas dan relevan, atas hal tersebut seluruh aspek yang digunakan harus memiliki indicator agar dapat

menghasilkan interpretasi yang jelas dan tidak ambigu. Berikut Indikator dari keterampilan proses sains.

Tabel 2.1. Indikator Keterampilan Proses Sains

Keterampilan Proses Sains	Indikator
Mengamati atau observasi	<ul style="list-style-type: none"> a. Menggunakan sebanyak mungkin Indera b. Mengumpulkan atau menggunakan fakta yang relevan
Interpretasi	<ul style="list-style-type: none"> a. Menghubungkan hasil – hasil pengamatan b. Menemukan pola dalam suatu seri pengamatan c. Menyimpulkan
Merencanakan percobaan/ penelitian/penyelidikan	<ul style="list-style-type: none"> a. Menentukan alat atau bahan atau sumber yang akan digunakan b. Menentukan variable atau factor penentu c. Menentukan apa yang akan diukur, diamati atau dicatat. d. Menentukan apa yang akan dilaksanakan berupa Langkah kerja
Berkomunikasi	<ul style="list-style-type: none"> a. Memberikan atau menggambarkan data empiris hasil percobaan atau pengamatan dengan grafik atau table atau diagram b. Menyusun dan menyampaikan laporan secara sistematis c. Menjelaskan hasil percobaan atau penelitian d. Membaca grafik atau table atau diagram e. Mendiskusikan hasil kegiatan suatu masalah atau peristiwa

3. Materi Gerak Jatuh Bebas

Gerak jatuh bebas adalah gerak yang timbul akibat adanya gaya gravitasi dan benda tidak berada dalam kesetimbangan. Artinya benda terlepas dan tidak ditopang oleh apapun dari segala sisi. Gambar di samping menunjukkan sebuah benda yang jatuh. Terminologi jatuh bebas

digunakan untuk benda yang jatuh tanpa memiliki kecepatan awal akibat suatu gaya ($v_1 = 0$). Untuk menganalisis gerakan ini, maka dapat dilihat bahwa gerakan hanya dipengaruhi oleh gaya gravitasi bumi. Bukan massa benda. Benda yang jatuh, semakin dekat ke permukaan bumi, kecepatannya akan semakin bertambah. Mengapa? Karena benda mengalami percepatan sebesar percepatan gravitasi bumi. Persamaan gerak yang digunakan untuk menganalisis gerakan ini adalah persamaan gerak untuk gerak lurus berubah beraturan. Dimana percepatan a , diganti menjadi g . Sehingga secara sederhana persamaan GLBB sebelumnya dapat diubah menjadi sbb:

$$v_2 = v_1 \pm gt \dots\dots\dots(2.1)$$

$$y_2 = y_1 + v_1 t \pm \frac{1}{2} gt^2 \dots\dots\dots(2.2)$$

$$v_2^2 = v_1^2 \pm 2gy; y = y_2 - y_1 \dots\dots\dots(2.3)$$

Tanda positif dapat digunakan untuk benda jatuh bebas maupun untuk yang dilempar vertikal ke bawah. Sedangkan tanda negative digunakan untuk benda yang dilempar vertikal ke atas. Notasi y adalah menunjukkan ketinggian benda.

Analisis lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan benda untuk sampai ke permukaan, kecepatan benda saat sampai ke tanah.

Waktu (t) yang diperlukan oleh benda untuk mencapai ketinggian (h) tertentu dapat dihitung dengan menggunakan rumus berikut ini.

$$y_2 = y_1 + v_1 t \pm g \frac{1}{2} t^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

perhatikan bahwa $h = y_1 - y_2 \dots\dots\dots(2.5)$

Maka persamaan tersebut dapat dituliskan menjadi:

$$h = v_1 t \pm \frac{1}{2} g t^2, \text{ nilai } v_1 = 0 \dots\dots\dots(2.6)$$

sehingga

$$h = \frac{1}{2} g t^2, \rightarrow t = \sqrt{\frac{2h}{g}} \dots\dots\dots(2.7)$$

Kecepatan saat menyentuh permukaan bidang

$$v_2 = g t \dots\dots\dots(2.8)$$

Dengan memasukkan nilai t kedalam persamaan ini

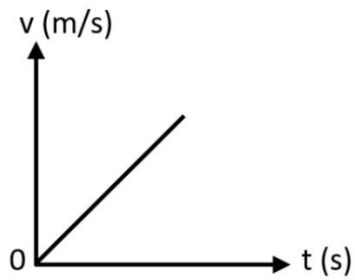
maka diperoleh nilai v_2 , $v_2 = g \sqrt{\frac{2h}{g}} \dots\dots\dots(2.9)$

kuadratkan dua sisi $(v_2)^2 = \left(g \sqrt{\frac{2h}{g}}\right)^2, \dots\dots\dots(2.10)$

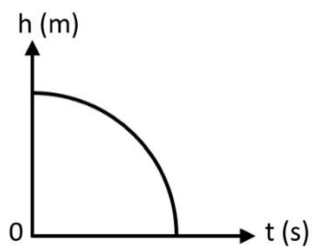
persamaan tersebut menjadi $v_2^2 = g^2 \frac{2h}{g} \dots\dots\dots(2.11)$

maka diperoleh $v_2 = \sqrt{2gh} \dots\dots\dots(2.12)$

Dengan catatan dalam menggunakan rumus ini, maka harus diperhatikan bahwa referensi ketinggian adalah dari titik tertinggi ke titik terendah, bukan sebaliknya. Hal ini harus diperhatikan untuk menghindari kesalahan dalam perhitungan.



Gambar 2.1. Grafik hubungan kecepatan terhadap waktu



Gambar 2.2. Grafik hubungan ketinggian terhadap waktu

B. Kajian Penelitian yang relevan

Computer-Based Inquiry to Enhance Science Process Skills in Undergraduate Students Using Arduino Sensors” oleh Leyva Figueroa et al. (2023) merupakan sebuah studi yang membahas pengembangan keterampilan proses sains mahasiswa melalui pembelajaran berbasis inkuiri menggunakan sistem sensor berbasis Arduino dalam konteks eksperimen berbantuan komputer. Masalah yang dikaji dalam penelitian ini adalah rendahnya keterampilan proses sains pada mahasiswa tingkat sarjana dalam pembelajaran eksperimen fisika, yang ditandai dengan kurangnya pemahaman konseptual dan keterlibatan aktif dalam kegiatan

laboratorium konvensional. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan dan mengevaluasi efektivitas pendekatan pembelajaran berbasis komputer yang mengintegrasikan Arduino sensor untuk meningkatkan keterampilan proses sains mahasiswa pada eksperimen suhu, cahaya, dan gerak. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode kuasi eksperimen dengan melibatkan dua kelompok mahasiswa, yaitu kelompok eksperimen yang menggunakan perangkat berbasis komputer dan kelompok kontrol yang menggunakan pendekatan tradisional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mahasiswa dalam kelompok eksperimen menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam indikator keterampilan proses sains, terutama dalam hal interpretasi data, observasi sistematis, dan merancang eksperimen, yang menunjukkan bahwa penggunaan teknologi berbasis Arduino dapat menjadi alternatif efektif dalam pengembangan keterampilan proses sains mahasiswa secara lebih mandiri dan terstruktur.

Profil Laboratorium sebagai Penunjang Praktikum IPA di SMP Negeri 1 Mojolaban Ditinjau dari Kualitas dan Teknis Pengelolaan Laboratorium” oleh Rahmawati Eka Dewi dan Rina Astuti (2022) membahas pentingnya laboratorium sebagai sarana utama dalam menunjang kegiatan praktikum IPA serta bagaimana kualitas dan pengelolaannya mempengaruhi efektivitas pembelajaran. Masalah utama yang diangkat dalam penelitian ini adalah meskipun laboratorium di sekolah telah tersedia, pengelolaan dan kualitasnya sering kali tidak

memenuhi standar nasional, sehingga menghambat proses pembelajaran praktikum secara optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendeskripsikan profil laboratorium IPA di SMP Negeri 1 Mojolaban berdasarkan dua aspek utama yaitu kualitas laboratorium dan teknis pengelolaan laboratorium. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kualitatif dengan teknik pengumpulan data berupa observasi, wawancara, dan dokumentasi yang kemudian dianalisis menggunakan pendekatan analisis data kualitatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari segi kualitas laboratorium memperoleh skor rata-rata sebesar 85% dengan kategori sangat baik, tetapi dari segi teknis pengelolaan laboratorium hanya memperoleh skor rata-rata sebesar 54% yang masuk kategori cukup baik, dengan catatan bahwa belum tersedia laboran dan administrasi laboratorium hanya dilakukan sebagian kecil, sehingga hal ini berdampak pada keberlangsungan praktikum yang kurang optimal dan berpotensi menurunkan pengembangan keterampilan proses sains siswa.

Deskripsi Keterampilan Proses Sains Dasar Siswa di SMA 6 Muaro Bulian” oleh Astalini, Darmaji, Dwi Agus Kurniawan, dan Wita Ardina Putri (2022) merupakan sebuah kajian deskriptif yang mengangkat isu seputar rendahnya keterampilan proses sains dasar yang dimiliki oleh siswa di tingkat SMA, khususnya pada aspek-aspek seperti mengamati, mengklasifikasi, memprediksi, mengukur, mengkomunikasikan, dan menyimpulkan. Masalah yang melatarbelakangi penelitian ini adalah kebutuhan mendesak untuk mengetahui sejauh mana keterampilan dasar

tersebut telah dimiliki oleh siswa SMA sebagai bagian dari bekal berpikir ilmiah yang esensial dalam pembelajaran sains. Tujuan penelitian ini adalah untuk menggambarkan secara kuantitatif keterampilan proses sains dasar siswa kelas XII IPA di SMA Negeri 6 Muaro Bulian. Metode yang digunakan adalah metode deskriptif kuantitatif dengan menggunakan instrumen angket dan observasi yang disebarakan kepada siswa, dan hasilnya dianalisis dalam bentuk persentase. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan proses sains dasar siswa secara umum tergolong dalam kategori baik, dengan nilai tertinggi pada aspek mengukur dan menyimpulkan (53,5%), mengamati (50%), klasifikasi (40%), serta nilai terendah pada indikator memprediksi dan mengkomunikasikan (36,7%), yang menunjukkan bahwa masih terdapat ruang untuk peningkatan pada beberapa indikator, terutama dalam hal kemampuan komunikasi ilmiah dan perencanaan prediksi.

Analisis Keterampilan Proses Sains Siswa Sekolah Menengah Atas” oleh Elvanisi, Hidayat, dan Fadillah (2018) merupakan sebuah studi analitik yang berupaya menelaah sejauh mana keterampilan proses sains dimiliki oleh siswa SMA melalui pendekatan penilaian terhadap berbagai indikator seperti merumuskan masalah, merancang eksperimen, mengumpulkan data, menganalisis hasil, dan menyimpulkan. Permasalahan yang diangkat adalah bahwa dalam proses pembelajaran IPA di tingkat SMA, siswa sering kali belum menunjukkan penguasaan yang memadai terhadap keterampilan-keterampilan berpikir ilmiah yang

semestinya menjadi fondasi dalam kegiatan praktikum. Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis capaian keterampilan proses sains siswa melalui instrumen tes dan observasi selama proses pembelajaran IPA berlangsung. Metode yang digunakan adalah deskriptif analitik dengan pendekatan kualitatif-kuantitatif, dimana data diperoleh dari lembar observasi aktivitas siswa, hasil tes, serta dokumentasi pelaksanaan pembelajaran. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun beberapa indikator keterampilan proses sains seperti mengamati dan menyimpulkan berada dalam kategori baik, indikator lain seperti merancang eksperimen dan menginterpretasikan data masih berada dalam kategori sedang hingga rendah, yang menunjukkan pentingnya intervensi pedagogis dalam bentuk pembelajaran berbasis inkuiri dan praktikum terstruktur untuk meningkatkan keterampilan proses sains secara menyeluruh.

Artikel berjudul "*Meta Analisis Efektivitas Pembelajaran Fisika Secara Daring Menggunakan Virtual Laboratorium*" yang ditulis oleh Hapsari, Rohim, dan Zahrah (2021), dibahas topik mengenai efektivitas penggunaan laboratorium virtual dalam pembelajaran fisika selama masa pandemi COVID-19, khususnya dalam konteks pembelajaran daring yang menjadi solusi utama ketika kegiatan tatap muka dibatasi. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah rendahnya efektivitas pembelajaran fisika secara daring karena keterbatasan fasilitas praktikum dan rendahnya interaktivitas pembelajaran, yang berakibat pada turunnya pemahaman dan minat belajar siswa. Penelitian ini bertujuan untuk

menganalisis seberapa efektif laboratorium virtual dalam meningkatkan hasil belajar fisika dibandingkan metode pembelajaran daring biasa tanpa laboratorium virtual. Metode yang digunakan adalah meta-analisis terhadap beberapa penelitian terdahulu yang relevan, di mana peneliti mengumpulkan dan menganalisis data statistik dari sejumlah publikasi ilmiah yang mengimplementasikan laboratorium virtual dalam pembelajaran fisika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa laboratorium virtual secara signifikan memberikan dampak positif terhadap peningkatan hasil belajar, interaksi belajar, dan motivasi siswa dalam pembelajaran fisika daring, serta mampu mengatasi sebagian besar hambatan pembelajaran fisika selama pandemi, sehingga virtual lab dianggap sebagai alternatif yang layak digunakan bahkan setelah pembelajaran kembali normal.

Jurnal ilmiah yang ditulis oleh Rahma (2021) berjudul "*Efektivitas Penggunaan Virtual Lab PhET Sebagai Media Pembelajaran Fisika terhadap Hasil Belajar Siswa*", membahas topik penggunaan simulasi interaktif berbasis PhET dalam pembelajaran fisika untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep abstrak. Masalah yang dikaji dalam artikel ini adalah masih rendahnya hasil belajar siswa pada mata pelajaran fisika yang disebabkan oleh kurangnya fasilitas eksperimen yang memadai serta minimnya keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas media pembelajaran virtual lab PhET dalam meningkatkan hasil belajar siswa

dibandingkan pembelajaran konvensional. Metode penelitian yang digunakan adalah kuasi-eksperimen dengan desain pretest-posttest control group, di mana siswa dibagi dalam dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen yang menggunakan media virtual lab PhET dan kelompok kontrol yang menggunakan metode pembelajaran biasa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan virtual lab PhET secara signifikan lebih efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa, dengan rata-rata nilai posttest yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol, serta menunjukkan peningkatan skor N-Gain yang berada pada kategori sedang hingga tinggi, yang berarti penggunaan laboratorium virtual berbasis PhET sangat direkomendasikan dalam pembelajaran fisika, khususnya untuk materi-materi yang memerlukan visualisasi tinggi.

Artikel berjudul "*Pengembangan LKS Berbasis Virtual Lab Bantuan Simulasi PhET untuk Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa pada Materi Getaran Harmonik*" yang ditulis oleh Muliani, Siska, dan Hasri, membahas pengembangan perangkat pembelajaran berupa Lembar Kerja Siswa (LKS) berbasis virtual lab menggunakan simulasi PhET sebagai upaya meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa dalam memahami konsep fisika khususnya pada topik getaran harmonik. Permasalahan yang menjadi dasar pengembangan ini adalah lemahnya keterampilan berpikir kritis siswa dalam pembelajaran fisika yang bersifat teoritis dan minim kegiatan eksperimen langsung. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan LKS yang layak secara validitas isi dan

praktikalitas penggunaan, serta efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development (R&D) dengan model 4-D (Define, Design, Develop, Disseminate) yang difokuskan hingga tahap Develop. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk LKS berbasis virtual lab dinyatakan sangat layak berdasarkan validasi ahli materi dan media, serta menunjukkan kepraktisan tinggi dari segi keterpakaian di kelas, dan hasil uji efektivitas menunjukkan adanya peningkatan signifikan pada indikator berpikir kritis siswa setelah menggunakan produk, yang menunjukkan bahwa pengintegrasian simulasi PhET dalam LKS mampu mendorong keterlibatan siswa secara aktif dan mendalam dalam proses pembelajaran.

Penelitian yang dilakukan oleh Agustine (2024) dalam jurnal berjudul *"Pengembangan E-Learning Berbantuan Virtual Laboratory untuk Mata Kuliah Praktikum Fisika Dasar II di Program Studi Pendidikan Fisika FKIP UNSRI"* mengangkat topik tentang inovasi pembelajaran praktikum fisika melalui pengembangan e-learning berbasis laboratorium virtual sebagai solusi atas keterbatasan pelaksanaan praktikum secara langsung. Permasalahan utama yang menjadi latar belakang penelitian ini adalah kurangnya efisiensi dan fleksibilitas dalam pelaksanaan praktikum fisika di perguruan tinggi, terutama pada masa pandemi, serta kebutuhan akan pembelajaran yang berbasis teknologi informasi. Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan produk e-learning yang terintegrasi dengan laboratorium virtual yang valid, praktis, dan

efektif untuk digunakan dalam mata kuliah praktikum fisika dasar II. Metode yang digunakan adalah R&D dengan mengadaptasi model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Hasil pengembangan menunjukkan bahwa produk yang dihasilkan memperoleh penilaian “sangat valid” dari ahli materi dan media, serta “sangat praktis” berdasarkan hasil uji coba lapangan terbatas, dan berdasarkan hasil pretest-posttest mahasiswa, produk ini mampu meningkatkan hasil belajar dan keterlibatan mahasiswa dalam pelaksanaan praktikum fisika secara mandiri dan fleksibel, yang mengindikasikan bahwa model e-learning berbasis laboratorium virtual sangat potensial diterapkan dalam pendidikan tinggi fisika.

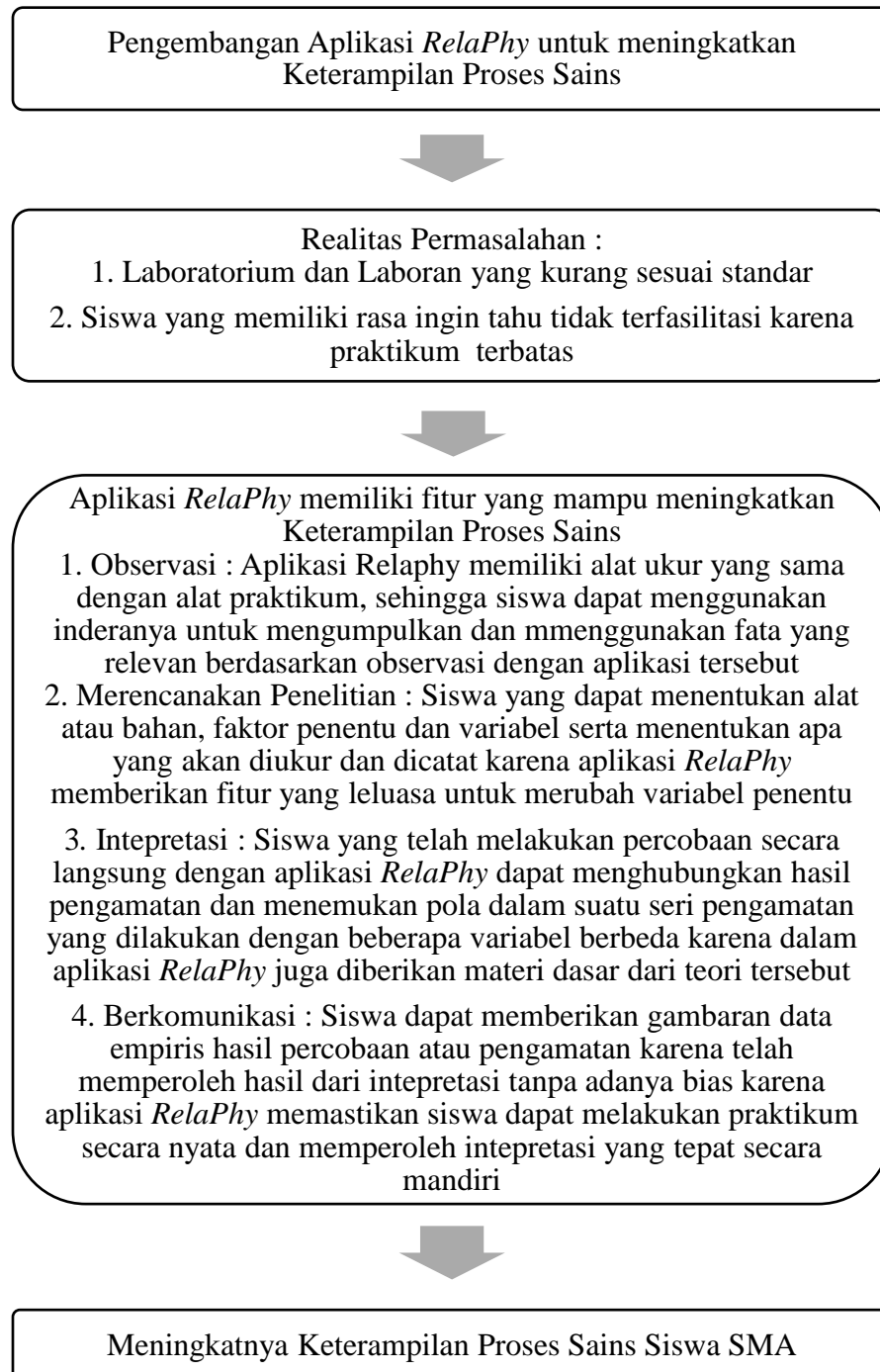
Dalam jurnal berjudul "*Pengembangan Petunjuk Praktikum Fisika Berbasis Laboratorium Virtual pada Pembelajaran Fisika di SMP/MTs*" yang ditulis oleh Wahyuni, Lesmono, dan S., dibahas pengembangan petunjuk praktikum sebagai alat bantu pembelajaran fisika yang memanfaatkan laboratorium virtual dalam rangka meningkatkan efektivitas kegiatan praktikum di sekolah menengah pertama. Permasalahan yang diangkat dalam penelitian ini adalah keterbatasan fasilitas laboratorium dan waktu pembelajaran di sekolah, yang mengakibatkan siswa kurang memperoleh pengalaman praktikum fisika secara maksimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan produk petunjuk praktikum berbasis virtual lab yang dapat digunakan oleh guru dan siswa dalam pembelajaran fisika secara mandiri. Metode

penelitian yang digunakan adalah metode R&D yang disesuaikan dengan prosedur pengembangan media pembelajaran, mulai dari analisis kebutuhan hingga validasi produk oleh ahli dan uji coba terbatas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produk petunjuk praktikum yang dikembangkan dinyatakan sangat layak oleh ahli materi dan media, dan pengguna (guru dan siswa) memberikan respon positif terhadap kebermanfaatannya dalam mendukung proses observasi, interpretasi, dan penyimpulan dalam kegiatan eksperimen. Selain itu, uji keterampilan siswa menunjukkan bahwa panduan tersebut mudah diikuti dan mendorong siswa untuk aktif dalam melakukan percobaan meskipun tanpa kehadiran laboratorium fisik, sehingga produk ini dapat menjadi solusi praktis dan efektif dalam pembelajaran sains berbasis eksperimen.

Artikel "*Model Problem Based Learning Berbantuan Laboratorium Virtual dalam Pembelajaran Fisika: Kajian Literatur*" yang ditulis oleh Yahya, Nursalim, dan Masito membahas integrasi model pembelajaran berbasis masalah (Problem Based Learning/PBL) dengan laboratorium virtual dalam konteks pembelajaran fisika sebagai upaya meningkatkan kemampuan pemecahan masalah dan pemahaman konsep siswa. Permasalahan yang dikaji dalam tulisan ini adalah rendahnya efektivitas pembelajaran konvensional dalam membangun kemampuan berpikir tingkat tinggi, khususnya dalam memecahkan persoalan fisika yang kompleks dan kontekstual. Tujuan penelitian ini adalah mengkaji secara teoritis dan empiris efektivitas integrasi PBL dengan laboratorium

virtual dalam meningkatkan hasil belajar fisika dan keterampilan berpikir kritis siswa. Penulis menggunakan metode kajian literatur (literature review) terhadap sejumlah penelitian terdahulu yang relevan dan terverifikasi, yang membahas topik serupa. Hasil kajian menunjukkan bahwa kombinasi antara pendekatan PBL dan laboratorium virtual mampu menciptakan pembelajaran yang lebih interaktif, kontekstual, dan bermakna, serta memberikan ruang eksplorasi dan refleksi bagi siswa dalam memahami konsep fisika secara mendalam. Laboratorium virtual berperan sebagai alat bantu visualisasi dan simulasi eksperimen, sedangkan PBL mendorong siswa untuk berpikir analitis dan menyelesaikan permasalahan berdasarkan skenario dunia nyata, sehingga integrasi keduanya dianggap sebagai model pembelajaran yang layak dikembangkan dan diimplementasikan secara lebih luas dalam pendidikan sains.

C. Kerangka Berpikir



Gambar 2.3. Alur Kerangka Berpikir

Permasalahan yang kerap dihadapi dalam proses pembelajaran sains di tingkat SMA adalah keterbatasan fasilitas laboratorium dan tenaga laboran yang belum sesuai dengan standar pembelajaran yang ideal. Hal ini berdampak pada minimnya kesempatan siswa untuk melakukan kegiatan praktikum secara langsung. Padahal, praktikum merupakan salah satu aspek penting dalam pengembangan keterampilan proses sains. Selain itu, semangat dan rasa ingin tahu siswa terhadap sains sering kali tidak terfasilitasi secara optimal akibat terbatasnya akses terhadap kegiatan eksploratif yang sesuai.

Sebagai solusi atas permasalahan tersebut, dikembangkanlah aplikasi *RelaPhy*—sebuah aplikasi laboratorium virtual yang dirancang untuk meningkatkan keterampilan proses sains siswa. Aplikasi ini menyediakan fitur-fitur yang mendekati pengalaman praktikum nyata, sehingga siswa tetap dapat menjalankan proses ilmiah meskipun tanpa fasilitas laboratorium fisik yang lengkap.

Aplikasi *RelaPhy* mendukung pengembangan keterampilan proses sains melalui empat aspek utama. Pertama, observasi. Aplikasi ini dilengkapi dengan alat ukur virtual yang menyerupai alat praktikum nyata, memungkinkan siswa menggunakan indera dan pengetahuan mereka untuk mengamati serta mengumpulkan data yang relevan. Kedua, perencanaan penelitian, di mana siswa dapat menentukan alat dan bahan, variabel bebas, variabel terikat, serta parameter yang akan diukur melalui fitur fleksibel yang disediakan oleh aplikasi ini.

Ketiga, aspek interpretasi. Setelah melakukan simulasi praktikum, siswa diajak untuk mengolah dan menghubungkan data hasil pengamatan guna menemukan pola dalam serangkaian pengujian dengan variabel berbeda. Proses ini diperkaya dengan adanya materi dasar teori yang disediakan dalam aplikasi, sehingga siswa tidak hanya sekadar mencoba tetapi juga memahami. Keempat, komunikasi, yang memungkinkan siswa menyampaikan hasil interpretasi dalam bentuk penyajian data empiris secara jelas dan tanpa bias. Hal ini dimungkinkan karena aplikasi *RelaPhy* dirancang untuk memberikan pengalaman eksperimen yang dapat dipahami dan dikelola secara mandiri oleh siswa.

Dengan adanya aplikasi *RelaPhy*, siswa diharapkan mampu mengembangkan dan meningkatkan keterampilan proses sains mereka secara signifikan, meskipun berada dalam lingkungan pembelajaran yang terbatas secara fasilitas. Inovasi ini menjadi jembatan antara keterbatasan realitas pendidikan dengan tuntutan penguasaan sains abad ke-21 yang berbasis pada kemampuan berpikir kritis dan eksploratif.

D. Hipotesis

Hipotesis merupakan pernyataan tentatif yang dirumuskan berdasarkan kajian teori dan kerangka berpikir, serta akan diuji secara empiris melalui proses pengumpulan dan analisis data. Dalam penelitian ini, hipotesis dirancang untuk mengetahui pengaruh penggunaan media *RelaPhy* terhadap peningkatan keterampilan proses sains (KPS) siswa SMA pada materi gerak jatuh bebas. Media *RelaPhy* dikembangkan

sebagai bentuk inovasi pembelajaran berbasis remote laboratory, yang bertujuan memberikan akses eksperimen fisika secara daring, fleksibel, dan terstruktur. Hipotesis yang dirumuskan berkaitan langsung dengan efektivitas media terhadap hasil belajar siswa yang diukur melalui tes KPS. Pengujian hipotesis dilakukan menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain one group pretest-posttest, di mana peningkatan hasil belajar siswa dibandingkan sebelum dan sesudah penggunaan media. Hasil pengujian ini akan memberikan dasar apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara dua kondisi tersebut, serta apakah media yang dikembangkan berdampak secara nyata terhadap keterampilan proses sains. Rumusan hipotesis yang tepat sangat penting untuk memastikan bahwa analisis data berjalan sesuai dengan tujuan dan dapat memberikan simpulan yang valid. Oleh karena itu, dalam konteks penelitian ini, hipotesis disusun berdasarkan justifikasi logis dan teori yang relevan.

Hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) diformulasikan untuk mewakili dua kemungkinan kesimpulan dari analisis statistik. Hipotesis nol (H_0) dalam penelitian ini berbunyi: "*Penggunaan media RelaPhy tidak meningkatkan keterampilan proses sains siswa SMA pada materi gerak jatuh bebas.*" Hipotesis ini menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan antara skor KPS siswa sebelum dan sesudah penggunaan media. Dengan kata lain, jika H_0 diterima, maka dapat disimpulkan bahwa media *RelaPhy* tidak memberikan kontribusi yang berarti dalam meningkatkan hasil belajar siswa dalam konteks keterampilan proses sains. Sementara

itu, hipotesis alternatif (H_1) berbunyi: "*Penggunaan media RelaPhy meningkatkan keterampilan proses sains siswa SMA pada materi gerak jatuh bebas.*" Jika H_1 diterima, maka ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara nilai pretest dan posttest, yang mengindikasikan keberhasilan media dalam meningkatkan kemampuan sains siswa. Pengujian hipotesis dilakukan melalui analisis statistik inferensial yang sesuai yaitu uji Wilcoxon karena data tidak terdistribusi normal.

H_0 : Penggunaan media *RelaPhy* tidak meningkatkan keterampilan proses sains siswa SMA pada materi Gerak jatuh bebas

H_1 : Penggunaan media *RelaPhy* meningkatkan keterampilan proses sains siswa SMA pada materi Gerak jatuh bebas

Untuk mendukung keabsahan pengujian hipotesis, instrumen yang digunakan dalam pengumpulan data telah melalui proses validasi isi menggunakan metode CVR dan CVI oleh lima orang ahli. Skor keterampilan proses sains yang diperoleh dari pretest dan posttest dianalisis secara kuantitatif untuk melihat perbedaan skor sebelum dan sesudah intervensi. Hasil pengukuran ini akan menentukan apakah hipotesis nol dapat ditolak atau tidak. Dalam kerangka penelitian ini, jika hasil uji menunjukkan nilai p-value $< 0,05$ pada taraf signifikansi 5%, maka hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima. Dengan demikian, kesimpulan dapat diambil secara objektif berdasarkan data empiris, bukan asumsi atau pendapat subjektif. Di sisi lain, jika hasil uji menunjukkan p-value $\geq 0,05$, maka hipotesis nol tidak dapat ditolak dan

disimpulkan bahwa peningkatan yang terjadi tidak signifikan secara statistik. Penalaran ini menjadi dasar kuat dalam menjawab pertanyaan penelitian utama, yakni apakah media *RelaPhy* efektif dalam meningkatkan KPS siswa.

Penting untuk dicatat bahwa pengujian hipotesis tidak dilakukan dalam ruang hampa, melainkan dipengaruhi oleh konteks pembelajaran, kondisi siswa, dan kualitas implementasi media selama proses belajar. Oleh karena itu, hasil uji statistik tidak hanya digunakan untuk menerima atau menolak hipotesis semata, tetapi juga untuk menginterpretasikan dinamika pembelajaran yang terjadi. Untuk memperkaya pemahaman, penelitian ini juga menggabungkan pendekatan kualitatif melalui observasi kegiatan pembelajaran dan tanggapan siswa. Data kualitatif ini berfungsi untuk menjelaskan faktor-faktor yang mendasari hasil pengujian hipotesis secara kuantitatif. Misalnya, jika ditemukan adanya peningkatan skor tetapi interaksi siswa masih rendah, maka dapat disimpulkan bahwa media berhasil meningkatkan aspek kognitif, tetapi perlu penguatan pada aspek afektif. Dengan demikian, hipotesis dalam penelitian ini bersifat terbuka terhadap konfirmasi dari dua jenis data: statistik dan fenomenologis. Hal ini sejalan dengan desain penelitian campuran (*mixed methods*) yang digunakan dalam studi ini.

Perumusan hipotesis dalam penelitian ini bertujuan untuk memberikan arah dan struktur dalam menganalisis efektivitas media pembelajaran *RelaPhy*. Hipotesis nol dan alternatif bukan hanya

pernyataan formal, melainkan fondasi untuk menilai validitas temuan berdasarkan data empiris. H_0 menjadi acuan objektif bahwa suatu intervensi tidak memberikan efek yang signifikan, sedangkan H_1 memberikan peluang untuk menyatakan adanya pengaruh positif media yang dikembangkan. Dengan mempertimbangkan data pretest dan posttest, serta didukung observasi lapangan, hasil pengujian hipotesis akan memberikan kontribusi terhadap simpulan penelitian dan saran untuk pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi. Oleh karena itu, hasil pengujian hipotesis ini juga akan menentukan sejauh mana *RelaPhy* layak direkomendasikan untuk diterapkan secara lebih luas di sekolah. Jika hipotesis alternatif terbukti benar, maka media ini tidak hanya bermanfaat secara teoritis, tetapi juga aplikatif dalam meningkatkan keterampilan proses sains siswa SMA di era digital.