

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penelitian

Abad ke-21 dikenal sebagai era pengetahuan (*knowledge age*) yang bercirikan keterbukaan dan globalisasi. Artinya, upaya pemenuhan berbagai kebutuhan hidup masyarakat didasarkan pada sejumlah pengetahuan yang berbasis informasi (*information-driven*) dan saling terhubung satu sama lain secara global (*globally networked*). Abad ke-21 ini diantaranya ditandai dengan kemudahan akses informasi serta proses komunikasi yang tidak terbatas ruang dan waktu, perkembangan teknologi komputasi yang sangat cepat, serta penggunaan teknologi otomasi yang menjangkau berbagai pekerjaan rutin, sehingga terjadi transformasi pekerjaan dari yang tadinya berbasis industri menjadi pekerjaan-pekerjaan berbasis pengetahuan (Wijaya et al., 2016; Triling & Fadel, 2009).

Perubahan-perubahan yang terjadi di abad ke-21 seperti yang diuraikan di atas tentunya memberikan imbas yang nyata pada dunia pendidikan dan proses pembelajaran formal. Dalam hal ini, pembelajaran abad ke-21 hendaknya diorganisasikan untuk: (1) mendorong peserta didik mencari tahu atau menggali pengetahuan sendiri melalui berbagai sumber, (2) mengarahkan peserta didik untuk mampu merumuskan masalah (menanya) dan tidak hanya menyelesaikan masalah (menjawab), (3) melatih berpikir analitis (mengambil keputusan) dan bukan hanya berpikir mekanistik (rutin), serta (4) menekankan pentingnya kerjasama dan kolaborasi dalam menyelesaikan masalah (BSNP, 2010).

Untuk menghadapi kehidupan abad ke-21 yang semakin syarat dengan teknologi dan sains dalam masyarakat global di dunia ini, maka dalam rumusan paradigma pendidikan nasional di Indonesia disebutkan bahwa pendidikan harus berorientasi pada ilmu pengetahuan matematika dan sains alam disertai dengan sains sosial dan kemanusiaan (*humaniora*) dengan keseimbangan yang wajar (BSNP, 2010). Permendikbud Nomor 103 Tahun 2014 tentang Pembelajaran pada Pendidikan Dasar dan Pendidikan Menengah, juga mengamanatkan proses pembelajaran hendaknya dilakukan dengan menerapkan pendekatan saintifik atau pendekatan berbasis proses keilmuan, yang di dalamnya guru mengorganisasikan

pembelajaran sedemikian rupa sehingga peserta didik melakukan sejumlah proses pembelajaran, yaitu mengamati (*observing*), menanya (*questioning*), mengumpulkan informasi/ mencoba (*experimenting*), menalar atau mengasosiasi (*associating*), dan mengomunikasikan (*communicating*).

Pendekatan saintifik atau pendekatan berbasis proses keilmuan sesuai diterapkan dalam konteks pembelajaran fisika. Hal ini karena pada hakikatnya fisika merupakan produk, proses, dan sikap ilmiah. Sebagai produk ilmiah, fisika terdiri atas sejumlah pengetahuan (*body of knowledge*) yang berupa fakta, konsep, prinsip, hukum, teori, model, dan rumus. Hakikat fisika sebagai proses ilmiah berkaitan dengan cara kerja (*way of investigating*) yang dilakukan oleh para ilmuwan untuk memperoleh produk pengetahuan fisika. Sementara itu, hakikat fisika sebagai sikap ilmiah berkaitan dengan cara berpikir (*way of thinking*) yang dilakukan oleh seorang ilmuwan dalam melakukan proses sains untuk memperoleh sejumlah pengetahuan fisika (Sutrisno, 2006).

Salah satu metode pembelajaran fisika yang memungkinkan peserta didik dapat mencari tahu atau menggali pengetahuannya sendiri melalui sejumlah proses saintifik adalah metode praktikum. Praktikum fisika di suatu sekolah bertujuan untuk mendemonstrasikan prinsip-prinsip dasar dasar fisika, memperkenalkan peserta didik dengan alat-alat percobaan sehingga mereka dapat menggunakan alat-alat tersebut dengan tujuan tertentu, belajar tentang cara melakukan percobaan ilmiah, dan mengembangkan sikap-sikap praktis tertentu (Gupta, 2013). Melalui kegiatan praktikum, peserta didik dapat memahami hakikat sains (fisika) dan memperoleh pengetahuan, pengalaman, serta keterampilan-keterampilan praktis, maupun keterampilan berpikir tingkat tinggi yang diperlukan untuk menghadapi kehidupan abad ke-21. Kegiatan praktikum dalam pembelajaran dapat membangkitkan motivasi dan prestasi belajar, mengembangkan keterampilan dasar bereksperimen, dan menjadi sarana bagi peserta didik untuk menerapkan metode ilmiah (Hofstein & Lunetta, 2004). Praktikum merupakan salah satu strategi pembelajaran yang dapat menarik minat peserta didik dengan tujuan agar peserta didik memperoleh kesempatan menguji dan melaksanakan secara riil hal-hal yang telah dipelajarinya secara teoritis (Yuliana et al., 2017).

Praktikum fisika dapat: (1) melibatkan peserta didik untuk memperoleh pengalaman bereksperimen (termasuk pengalaman dalam merancang penyelidikan), (2) membantu peserta didik untuk mengembangkan sejumlah keterampilan dasar dan peralatan untuk melakukan percobaan fisika dan analisis data, (3) membantu peserta didik untuk menguasai konsep-konsep fisika, (4) membantu peserta didik memahami peran pengamatan langsung dalam fisika dan membedakan penarikan kesimpulan berdasarkan teori dengan penarikan kesimpulan berdasarkan hasil percobaan, dan (5) membantu peserta didik untuk mengembangkan keterampilan belajar kolaboratif yang penting bagi kehidupan (Vilaythong, 2011).

Kegiatan praktikum di laboratorium yang berpusat pada inkuiri (*inquiry-centered laboratory*) berpotensi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran sehingga lebih bermakna serta meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap konsep dan hakikat sains. Pengalaman inkuiri dapat diperoleh peserta didik secara efektif di dalam suatu kegiatan praktikum jika dilakukan dalam konteks yang sesuai dan terintegrasi dengan konsep yang diajarkan (Kipnis & Hofstein, 2008). *Inquiry laboratory* sangat penting di dalam pembelajaran fisika. Hal ini karena di dalamnya peserta didik dilibatkan dalam mengidentifikasi masalah dan merumuskan pertanyaan ilmiah terkait suatu fenomena, merumuskan hipotesis, mendesain eksperimen, mengumpulkan dan menganalisis data, dan menarik kesimpulan. Penggunaan inkuiri ilmiah dapat meningkatkan pemahaman konsep, pengetahuan prosedural, dan keahlian peserta didik dalam melakukan investigasi (Hofstein & Lunetta, 1982).

Meskipun kegiatan praktikum fisika, terutama praktikum yang berpusat pada inkuiri (*inquiry-centered laboratory*) diketahui dapat menciptakan pembelajaran fisika yang lebih bermakna serta berpeluang meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap suatu konsep fisika dan membekali peserta didik dengan keterampilan dan sikap yang sesuai hakikat sains dan tuntutan pembelajaran abad ke-21, tetapi pada kenyataannya kegiatan praktikum fisika di sekolah-sekolah belum dapat dilaksanakan secara optimal. Beberapa hasil studi menunjukkan bahwa belum optimalnya pelaksanaan kegiatan praktikum di sekolah ini disebabkan oleh banyak faktor, di antaranya: (1) minimnya ketersediaan fasilitas (alat dan bahan)

praktikum, (2) masih adanya ruang laboratorium fisika yang digunakan sebagai ruang kelas, dan (3) tidak adanya laboran atau teknisi, sehingga proses penyiapan kegiatan praktikum dalam laboratorium banyak menyita waktu pembelajaran (Katili et al., 2013). Peralatan praktikum fisika di sekolah menengah berupa KIT, alat ukur dasar, dan alat peraga fisika dengan ketersediaan yang minim dan kondisi kurang baik juga menyebabkan intensitas keterlaksanaan praktikum fisika di sekolah menengah berkategori kurang baik (Putri et al., 2014).

Permasalahan terkait implementasi praktikum fisika lebih parah pada pembelajaran fisika terkait materi-materi fisika yang bersifat teoretis dan abstrak. Dalam hal ini, yang dimaksud dengan materi fisika teoretis dan abstrak adalah materi-materi fisika terkait fenomena fisis yang contoh aktualnya tidak ada di lingkungan sekitar atau tidak mudah diamati secara langsung oleh peserta didik karena fenomena fisis tersebut bersifat mikroskopik atau bahkan berupa fenomena teoretis yang dibangun berdasarkan asumsi-asumsi ilmiah tertentu. Guru umumnya jarang atau bahkan tidak pernah menerapkan metode praktikum untuk materi-materi fisika yang bersifat teoretis dan abstrak. Hal ini karena kit praktikum yang tersedia di sekolah pada jenjang SMA/MA umumnya tidak dapat digunakan untuk menampilkan fenomena fisis mikroskopik terkait materi-materi fisika yang bersifat teoretis dan abstrak. Alat praktikum fisika yang tersedia di sekolah juga hanya memungkinkan peserta didik dapat mengamati fenomena fisis makroskopik saja, yang hasil pengamatan tersebut kemudian direpresentasikan secara matematis, sehingga peserta didik mengalami kesulitan untuk memahami fenomena fisis tersebut secara utuh dari aspek makroskopik maupun mikroskopiknya (Suseno, 2014). Hal ini juga didukung hasil studi lapangan (*field study*) di salah satu Madrasah Aliyah (MA) di Kabupaten Bandung, yang menghasilkan temuan bahwa kegiatan praktikum jarang dilakukan. Guru lebih banyak menerapkan metode ceramah dalam melaksanakan pembelajaran fisika. Bahkan guru tidak pernah menerapkan metode praktikum untuk materi-materi fisika yang bersifat teoretis dan abstrak (Sunardi et al., 2022).

Di dalam *field study* juga terungkap bahwa pembelajaran fisika untuk materi-materi yang bersifat teoretis dan abstrak seperti gerak dua dimensi, getaran harmonis sederhana, rotasi benda tegar, pemuaian dan kalor, teori kinetik gas,

termodinamika, optika fisis (gelombang cahaya), radiasi gelombang elektromagnetik, teori relativitas, fenomena kuantum, atom dan radioaktivitas umumnya diorganisasikan melalui metode ceramah dan hanya berfokus pada penyelesaian-penyelesaian soal-soal fisika matematis yang terdapat di dalam buku teks pelajaran. Hal ini menyebabkan peserta didik mengalami kesulitan memahami konsep-konsep fisika yang bersifat teoretis dan abstrak karena peserta didik tidak memperoleh kesempatan yang cukup untuk melihat fenomena fisis terkait konsep-konsep tersebut di dalam proses pembelajaran sehari-hari (Sunardi et al., 2022).

Melalui *field study* ini juga diketahui bahwa capaian hasil belajar fisika peserta didik yang ditunjukkan dengan nilai rata-rata ulangan harian fisika per pokok bahasan selama dua tahun (2018 dan 2019) untuk materi-materi, gerak dua dimensi, getaran harmonis, rotasi benda tegar, teori kinetik gas, termodinamika, dan optika fisis (gelombang cahaya) relatif rendah jika dibandingkan dengan nilai rata-rata ulangan harian pada pokok bahasan fisika lainnya. Temuan dalam *field study* sejalan dengan hasil penelitian yang mengungkap pemahaman konsep peserta didik terkait materi-materi fisika teoretis dan abstrak, seperti getaran harmonis sederhana dan teori kinetik gas. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pemahaman konsep peserta didik SMA/MA terkait materi getaran harmonis sederhana tergolong rendah, yaitu peserta didik yang memahami konsep-konsep fisika pada getaran harmonis sederhana hanya 28,82 % (Maharani, 2017). Penelitian lain juga mengungkap tingkat pemahaman konsep peserta didik Madrasah Aliyah untuk materi teori kinetik gas relatif rendah (Agustina et al., 2018).

Rendahnya intensitas kegiatan pembelajaran yang melalui metode praktikum di laboratorium yang berpusat pada inkuiri (*inquiry-centered laboratory*) menyebabkan peserta didik mempunyai kemampuan inkuiri yang relatif rendah. Hal ini seperti yang terungkap melalui beberapa hasil penelitian, di antaranya penelitian yang dilakukan oleh Anwar et al. (2014), yang berhasil mengungkap bahwa kemampuan inkuiri peserta didik SMA/MA belum terfasilitasi secara optimal pada pembelajaran fisika di dalam kelas. Kemampuan inkuiri peserta didik masih rendah, sehingga peserta didik perlu dibiasakan dengan pembelajaran yang melatih kemampuan berinkuiri (Liliawati et al., 2014).

Selain berdampak pada rendahnya pemahaman konsep dan keterampilan inkuiri peserta didik seperti yang diuraikan di atas, minimnya kegiatan pembelajaran fisika melalui metode praktikum yang berpusat pada inkuiri juga menyebabkan rendahnya kemampuan berpikir kritis peserta didik. Hal ini karena keterampilan berpikir kritis berkorelasi kuat dengan pemahaman konsep. Pemahaman konsep peserta didik yang rendah disebabkan karena rendahnya keterampilan atau kemampuan berpikir kritis peserta didik tersebut (Sari, Parno, & Taufik, 2016). Pada konsep fisika yang teoretis dan abstrak, terdapat kesulitan untuk menampilkan proses fisis secara langsung melalui kegiatan laboratorium yang riil karena tidak adanya alat percobaan yang memungkinkan pelaksanaan praktikum untuk konsep-konsep dengan karakteristik tersebut, sehingga menyebabkan tingkat pemahaman konsep fisika dan kemampuan berpikir kritis dan kreatif peserta didik rendah (Hermansyah et al., 2015).

Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu keterampilan penting yang harus dibekalkan kepada peserta didik melalui pembelajaran abad ke-21. Hal ini karena pembelajaran abad ke-21 merupakan pembelajaran yang diharapkan dapat memberikan kontribusi positif bagi penyiapan generasi muda sehingga mempunyai bekal kecakapan atau keterampilan yang memungkinkannya untuk dapat beradaptasi dengan kehidupan di era teknologi modern sekarang maupun di masa mendatang. Setidaknya terdapat empat kelompok keterampilan yang hendaknya dibekalkan kepada peserta didik melalui proses pembelajaran abad ke-21, yaitu keterampilan berpikir (*ways of thinking*), cara bekerja (*ways of working*), alat untuk bekerja (*tools for working*), dan keterampilan untuk hidup (*skills for living*) (Wilson et al., 2015).

Keterampilan berpikir yang diharapkan dibekalkan kepada peserta didik melalui pembelajaran abad ke-21 meliputi daya cipta dan inovasi (*creativity and innovation*), berpikir kritis (*critical thinking*), penyelesaian masalah (*problem solving*), pengambilan keputusan (*decision making*), cara belajar dan metakognisi (*learning to learn and metacognition*). Cara bekerja meliputi cara berkomunikasi (*communication*) dan kolaborasi (*collaboration*). Alat bekerja meliputi literasi informasi (*information literacy*) dan literasi teknologi informasi dan komunikasi (TIK)/ literasi digital (*ICT literacy/ digital literacy*). Sementara itu, keterampilan

untuk hidup meliputi cara peserta didik untuk dapat hidup sebagai warga negara yang mampu melangsungkan kehidupan secara normal dan berkarir, serta mempunyai tanggung jawab pribadi dan sosial, termasuk kesadaran terhadap budaya (Wilson et al., 2015).

BSNP (2010) juga merinci sejumlah keterampilan atau kemampuan yang harus dimiliki oleh sumber daya manusia abad ke-21 yang dapat dibekalkan kepada peserta didik melalui pembelajaran, yaitu: (1) kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah (*critical thinking and problem solving skills*), (2) kemampuan berkomunikasi dan bekerjasama (*communication and collaboration skills*), (3) kemampuan mencipta dan membaharui (*creativity and innovation skills*), (4) literasi teknologi informasi dan komunikasi (*information and communications technology literacy*), (5) kemampuan belajar kontekstual (*contextual learning skills*), dan (6) kemampuan informasi dan literasi media (*information and media literacy skills*).

Salah satu keterampilan abad ke-21 yang masih kurang dimiliki oleh peserta didik saat ini adalah keterampilan berpikir kritis. Dalam konteks pembelajaran fisika, peserta didik umumnya hanya mampu menyelesaikan masalah-masalah fisika pada aspek perhitungan matematisnya saja tanpa mampu menghubungkan konsep fisika dengan keadaan yang sebenarnya, sehingga hal ini berdampak pada rendahnya hasil belajar peserta didik (Priyadi et al., 2018). Selain itu, pembelajaran fisika yang berorientasi pada penyelesaian soal-soal fisika yang terdapat dalam buku teks pelajaran juga kurang memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis. Hal ini juga diperparah dengan minimnya soal-soal fisika yang melatih keterampilan berpikir kritis di dalam buku teks pelajaran fisika. Hal ini didukung dengan hasil analisis ketersediaan pertanyaan-pertanyaan berpikir kritis di dalam buku-buku teks pelajaran fisika untuk SMA/MA yang dinyatakan layak berdasarkan Keputusan Menteri Pendidikan No. 148/P/2016, yang mengungkap bahwa ketersediaan pertanyaan-pertanyaan berpikir kritis dalam buku-buku teks fisika untuk SMA/MA di Indonesia relatif minimum.

Terdapat beberapa penelitian yang mengungkap keterampilan berpikir kritis peserta didik pada jenjang SMA/MA, di antaranya menghasilkan temuan-temuan:

(1) kemampuan atau keterampilan berpikir kritis peserta didik pada jenjang SMA/MA secara keseluruhan berada pada kategori rendah, yaitu dengan persentase pencapaian sebesar 35,91 % (Arini & Juliadi, 2018); (2) rata-rata kemampuan berpikir kritis peserta didik SMA masih rendah, yang ditunjukkan dengan skor pencapaian sebesar 15,4 dari skor maksimum 100 (Sari et al., 2016); (3) rata-rata keterampilan berpikir kritis peserta didik Madrasah Aliyah (MA) adalah 51,6 % (berkategori rendah) (Susilowati et al., 2017); (4) tingkat berpikir kritis peserta didik SMA di Bandung berada dalam kategori rendah, sehingga perlu penerapan metode pembelajaran yang dapat mendorong peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik (Mauliana Wayudi et al., 2019).

Rendahnya pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik terkait materi-materi fisika teoretis dan abstrak salah satunya disebabkan karena peserta didik tidak dilibatkan dalam proses pengkonstruksian konsep dalam pikirannya melalui serangkaian kegiatan inkuiri (Husein et al., 2015). Hal ini tentunya berkaitan ketiadaan atau keterbatasan alat atau *tools* praktikum untuk materi-materi fisika teoretis dan abstrak. Permasalahan ini tentunya harus dicarikan solusinya. Dengan solusi ini, diharapkan pembelajaran fisika di masa mendatang benar-benar mampu memberikan kontribusi nyata dalam menyiapkan generasi muda yang mempunyai pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang mampu menyelesaikan berbagai masalah di lingkungan masyarakat yang hidup di abad ke-21 dan selanjutnya.

Untuk meningkatkan pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis peserta didik pada pembelajaran fisika untuk materi-materi fisika teoretis dan abstrak diperlukan bantuan TIK (Husein et al., 2015). Sebenarnya permasalahan terkait ketiadaan atau keterbatasan *tools* praktikum untuk materi-materi fisika teoretis dan abstrak telah banyak dicarikan solusinya melalui pengembangan beberapa produk pembelajaran yang mengadopsi TIK, di antaranya praktikum virtual, media simulasi *PhET (Physics Education Technology)*, dan multimedia interaktif. Beberapa contohnya adalah laboratorium virtual untuk materi getaran dan gelombang (Hermansyah et al., 2015), perangkat laboratorium virtual fisika modern berdasarkan paradigma pembelajaran abad ke-21 dan kurikulum 2013 (Usman et al., 2014), laboratorium fisika inti (Swandi et al., 2014), laboratorium

virtual yang diimplementasikan dalam *discovery learning* (Sari et al., 2017), laboratorium virtual listrik dinamis (Salam et al., 2010), simulasi *PhET* pada konsep fluida dinamis dan vektor (Elisa et al., 2017), desain pembelajaran *problem solving* berbantuan *PhET* (Sunni et al., 2014), model *discovery learning* berbantuan media simulasi *PhET* (Hidayah et al., 2020), multimedia interaktif dalam pembelajaran dengan model inkuiri terbimbing (Yulianci et al., 2017), multimedia interaktif fluida dinamis (Santhalia & Sampebatu, 2020), dan modul multimedia interaktif pada pembelajaran berbasis masalah (Suwindra et al., 2015).

Selain praktikum virtual, media simulasi *PhET* (*Physics Education Technology*), dan multimedia interaktif, dengan adanya teknologi modern *Internet of Things* (*IoT*) dan peralatan *CSE* (*computational science and engineering*) yang berkembang pesat sekarang ini, sangat mungkin dikembangkan produk-produk-produk teknologi lainnya yang berpotensi lebih baik untuk memecahkan masalah-masalah terkait ketiadaan atau keterbatasan *tools* praktikum untuk materi-materi fisika teoretis dan abstrak. Teknologi *IoT* dan *CSE* ini dapat diintegrasikan ke dalam pembelajaran dengan fungsi memfasilitasi pembelajaran berbasis proyek, meningkatkan kualitas pembelajaran, dan memvisualisasikan materi-materi tertentu, terutama materi-materi yang terkait fenomena yang bersifat mikroskopik dan abstrak. Simulasi komputer dengan menggunakan peralatan *CSE* merupakan pendekatan yang efektif dalam pembelajaran fisika, yang dapat meningkatkan pemahaman konsep dan kemampuan pemrograman ilmiah (*scientific computing*) (Vieira et al., 2018). Teknologi *IoT* dan *CSE* dapat digunakan untuk membuat alat praktikum fisika yang mudah dioperasikan, tidak memerlukan tempat penyimpanan khusus (*portable*), dan memungkinkan peserta didik untuk dapat mengamati fenomena fisis abstrak. Selain itu, adopsi teknologi *IoT* dan *CSE* dalam *tools* praktikum fisika juga dapat memfasilitasi peserta didik untuk menguasai keterampilan terkait TIK dan juga keterampilan-keterampilan lain yang diharapkan dibekalkan kepada peserta didik melalui pembelajaran abad ke-21.

Terkait penggunaan teknologi *IoT* dan *CSE* yang berpotensi digunakan untuk mengembangkan *tools* praktikum fisika untuk materi-materi yang teoretis dan abstrak, terdapat sebuah kerangka (*framework*) praktikum yang dinamakan *bifocal modeling*. Kerangka praktikum *bifocal modeling* dikembangkan dari pendekatan

pembelajaran berbasis inkuiri, yang melibatkan peserta didik untuk melakukan pengamatan terhadap suatu fenomena fisis serta mengumpulkan dan menganalisis data hasil pengamatan terhadap fenomena fisis ril yang dihubungkan dengan alat berbasis sensor secara *real-time* dengan perangkat luaran (*output*) yang dapat menampilkan data-data fisis hasil pantauan sensor secara langsung maupun data-data fisis hasil abstraksi atau pemodelan matematis serta visualisasi dari fenomena fisis ril tersebut. Data-data fisis dan visualisasi fenomena fisis dalam perangkat *bifocal modeling* ditampilkan melalui perangkat digital (komputer) (Fuhrmann, Schneider, et al., 2018).

Pembelajaran fisika dengan metode praktikum menggunakan *bifocal modeling tools* berbeda dengan pembelajaran yang hanya semata-mata menggunakan pemodelan atau simulasi komputer, seperti yang banyak dikembangkan dalam bentuk media simulasi *PhET (Physics Education Technology)* dan multimedia interaktif. Letak perbedaan mendasar dari kedua model pembelajaran ini adalah pada pembelajaran yang menggunakan media simulasi *PhET (Physics Education Technology)* atau multimedia interaktif, peserta didik tidak dihadapkan pada fenomena fisis ril, tetapi hanya berupa simulasi atau model komputer. Selain itu, pada pembelajaran dengan pendekatan *bifocal modeling*, peserta didik berpeluang melakukan “perbaikan” terhadap suatu model ilmiah berdasarkan hasil pengamatan langsung terhadap fenomena ril dan visualisasi fenomena fisis hasil simulasi yang tidak mungkin diamati secara langsung melalui komponen eksperimen ril, sehingga peserta didik dapat menghubungkan kedua fenomena tersebut secara *real-time* (Fuhrmann, Schneider, & Blikstein, 2018).

Dengan memanfaatkan teknologi *IoT* dan *CSE* yang ada sekarang ini, maka dapat dikembangkan alat atau *tools* praktikum fisika dengan mengadopsi kerangka *bifocal modeling*. *Tools* praktikum fisika *bifocal modeling* dapat menjadi solusi permasalahan ketiadaan atau keterbatasan *tools* praktikum materi-materi fisika teoretis dan abstrak seperti yang telah diuraikan di atas. Hal ini karena *Tools* praktikum fisika *bifocal modeling* ini memungkinkan peserta didik melakukan pengamatan terhadap fenomena fisis ril (makroskopik) maupun mikroskopik secara *real-time*, sehingga peserta didik berkesempatan memperoleh pengetahuan

yang utuh dan mendalam terkait fenomena fisis tersebut. *Tools* ini juga memberikan kesempatan kepada peserta didik untuk berinkuiri dan mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, termasuk keterampilan berpikir kritis. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengembangkan *bifocal modeling tools* (*BMT*) untuk implementasi *inquiry laboratory* dalam pembelajaran fisika yang berorientasi peningkatan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik pada jenjang SMA/MA.

Penggunaan kerangka *bifocal modeling* untuk mengembangkan *tools* praktikum yang diimplementasikan dalam pembelajaran sains pada dasarnya telah diteliti oleh beberapa ilmuwan. Beberapa hasil penelitian dari tahun 2012 hingga 2023 terkait pengembangan *bifocal modeling tools* untuk implementasi pembelajaran sains di antaranya digunakan untuk materi: (1) reaksi asam basa, tekanan gas di dalam suntikan (*syringe*), dan perpindahan kalor (Blikstein, 2012); (2) difusi gas, keseimbangan benda tegar pada kasus ketahanan miniatur jembatan terhadap beban yang diberikan di atasnya, pertumbuhan bakteri (Blikstein et al., 2012, 2016; Fuhrmann et al., 2013); (3) pembiasan cahaya, gerakan foton di dalam air, gelombang berjalan, dinamika gerak pada kasus *rollercoaster*, gerakan benda melalui bidang miring, perubahan wujud zat (Blikstein, 2014); (4) osmosis (Fuhrmann, Schneider, et al., 2018); (5) laju difusi zat cair (Fuhrmann, Bumbacher, et al., 2018); (6) konduksi kalor pada suatu pelat logam (Fuhrmann et al., 2020); (7) pola gerakan semut ketika melewati penghalang, mencari makanan, dan menemukan kembali sarangnya (Chen et al., 2023).

Alat-alat praktikum *bifocal modeling* yang telah banyak dikembangkan sebelumnya pada umumnya diorientasikan untuk meningkatkan penguasaan peserta didik terhadap suatu konsep sains, meningkatkan kemampuan peserta didik dalam menjelaskan fenomena sains, dan meningkatkan kemampuan *metamodeling* peserta didik (kemampuan mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan suatu model ilmiah) (Fuhrmann, Schneider, et al., 2018). Secara umum, pembelajaran yang menggunakan alat *bifocal modeling* dapat memperkaya pengalaman belajar peserta didik, memperbesar pelibatan peserta didik dalam belajar, dan meningkatkan pemahaman peserta didik tentang materi pembelajaran (Blikstein, 2014). Penggunaan alat praktikum *bifocal modeling* dalam pembelajaran sains juga dapat

meningkatkan kemampuan *metamodeling* peserta didik (Fuhrmann, Schneider, et al., 2018). Dalam hal ini, belum ada alat praktikum *bifocal modeling* yang dibuat untuk implementasi pembelajaran fisika dengan orientasi peningkatan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik.

Berdasarkan hasil penelitian dari tahun 2012 hingga 2023 terkait pengembangan *bifocal modeling tools* untuk implementasi pembelajaran sains, *platform* teknologi yang digunakan terdiri atas: (1) *platform* pemodelan komputer (*computer modeling platforms*), yaitu berupa *software* pemrograman, yaitu *Netlogo*, *Algodoo*, *Scratch*, *Logo*, dan *Processing* (Blikstein, 2014; Chen et al., 2023); (2) perangkat antarmuka (*interface*), yang terdiri atas sensor dan peralatan antarmuka analog ke digital (*analog-to-digital interfaces*), yaitu *Arduino* dan *GoGo Board*; (3) perangkat luaran untuk menampilkan data-data dan visualisasi fenomena fisis, yaitu layar komputer. Dalam hal ini, belum ada alat praktikum *bifocal modeling* yang dikembangkan dengan *software* gabungan antara *Arduino IDE*, bahasa pemrograman *C++*, *HTML*, *Javascript*, dan *CSS*, yang menggunakan mikrokontroler *NodeMCU* dan *ESP32 DEV Kit V1*.

Berdasarkan uraian di atas, maka dilakukan penelitian untuk mengembangkan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* untuk implementasi *inquiry laboratory* fisika yang berorientasi peningkatan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik. *Bifocal modeling tools* yang dikembangkan dalam penelitian ini mempunyai beberapa kebaruan, yang ditinjau dari aspek: (1) kemampuan yang dilatihkan, yaitu keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep; (2) *software* yang digunakan, yaitu gabungan antara *Arduino IDE*, bahasa pemrograman *C++*, *HTML*, *Javascript*, dan *CSS*, (3) *hardware* yang digunakan, yaitu mikrokontroler *NodeMCU* dan *ESP32 DEV Kit V1*, (4) perangkat luaran yang digunakan, yaitu *smartphone Android* yang dioperasikan dengan menggunakan aplikasi *Android* bernama *BM-PHY* yang dikembangkan sendiri atau *web browser Google Chrome* yang di-*install* di dalam *smartphone Android*. Hasil yang diharapkan dari penelitian ini adalah alat atau *tools* praktikum fisika *bifocal modeling* untuk implementasi *inquiry laboratory* yang berorientasi peningkatan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep

peserta didik pada pokok bahasan ayunan bandul harmonis sederhana dan teori kinetik gas.

1.2 Rumusan Masalah Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, masalah dalam penelitian ini dirumuskan sebagai berikut: “Bagaimanakah *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* untuk implementasi *inquiry laboratory* fisika yang berorientasi peningkatan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik SMA/MA yang dikembangkan dalam penelitian ini?”. Rumusan masalah ini kemudian dijabarkan ke dalam pertanyaan-pertanyaan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimanakah karakteristik *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* untuk implementasi *inquiry laboratory* fisika yang berorientasi peningkatan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik SMA/MA yang dikembangkan dalam penelitian ini?
2. Bagaimanakah peningkatan keterampilan inkuiri peserta didik yang mengikuti implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* dibandingkan dengan peningkatan keterampilan inkuiri peserta didik yang mengikuti implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan kit praktikum fisika standar?
3. Bagaimanakah peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik yang mengikuti implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* dibandingkan dengan peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik yang mengikuti implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan kit praktikum fisika standar?
4. Bagaimanakah peningkatan level pemahaman konsep peserta didik yang mengikuti implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* dibandingkan dengan peningkatan level pemahaman konsep peserta didik yang mengikuti

implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan kit praktikum fisika standar?

5. Bagaimanakah pengaruh implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* dalam meningkatkan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik?
6. Bagaimanakah efektivitas implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* dalam meningkatkan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik?
7. Bagaimanakah tanggapan peserta didik dan guru didik terhadap implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan menggunakan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menghasilkan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* untuk implementasi *inquiry laboratory* fisika yang *valid* dan teruji yang diorientasikan untuk meningkatkan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik SMA/MA untuk materi ayunan bandul harmonis sederhana dan teori kinetik gas.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Secara teoretis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah keilmuan dalam bidang pendidikan ilmu pengetahuan alam atau fisika, khususnya pengetahuan terkait alat atau *tools* praktikum fisika yang memanfaatkan teknologi sensor, mikrokontroler, atau *IoT (Internet of Things)* yang dapat digunakan sebagai acuan untuk pelaksanaan penelitian atau studi terkait pendidikan IPA atau fisika di masa yang akan datang.
2. Secara praktis, *bifocal modeling tools* yang dikembangkan dalam penelitian ini dapat diimplementasikan secara langsung dalam pembelajaran fisika di kelas, sehingga dapat digunakan sebagai bagian dari solusi permasalahan dan perbaikan penyelenggaraan kegiatan praktikum fisika di sekolah, khususnya untuk materi-materi yang bersifat teoretis dan abstrak.

1.5 Definisi Operasional

Agar hasil penelitian ini tidak menimbulkan banyak persepsi, terdapat beberapa definisi operasional yang digunakan, yaitu sebagai berikut:

1. *Bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* adalah alat praktikum fisika yang terdiri atas komponen alat percobaan ril standar yang dihubungkan dengan perangkat antarmuka (*interface*) terkoneksi sensor, yang menampilkan data-data atau visualisasi dari fenomena fisis pada percobaan ril berdasarkan pembacaan sensor secara *real-time* yang dapat diakses melalui perangkat luaran berupa *smartphone Android* dengan menggunakan aplikasi *Android BM-PHY* atau *web browser Google Chrome*. *Bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* dalam penelitian ini dikembangkan untuk implementasi *inquiry laboratory* fisika pada materi ayunan bandul harmonis sederhana dan teori kinetik gas yang berorientasi peningkatan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep peserta didik SMA/MA untuk materi ayunan bandul harmonis sederhana dan teori kinetik gas. Validitas dan kelayakan *bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* yang dikembangkan dalam penelitian ini diperoleh melalui penilaian ahli (*expert judgment*) yang kemudian dianalisis dengan menggunakan *content validity ratio (CVR)* berdasarkan kriteria Lawshe. *Bifocal modeling tools* berbasis aplikasi *Android BM-PHY* yang diimplementasikan di dalam pembelajaran harus mempunyai validitas isi yang baik (nilai *CVR* > nilai *CVR* Lawshe) dan memperoleh rekomendasi ahli dengan kategori “Dapat digunakan dalam pembelajaran fisika”.
2. Keterampilan inkuiri adalah keterampilan untuk memperoleh informasi melalui observasi untuk memecahkan suatu masalah dengan menggunakan kemampuan berpikir logis. Aspek-aspek keterampilan inkuiri yang diukur dalam penelitian ini mengacu pada *Science Inquiry Skills Framework*, yaitu keterampilan bertanya, merencanakan penyelidikan, melaksanakan penyelidikan, menganalisis dan menginterpretasikan data, mengkonstruksi penjelasan, dan berargumen berdasarkan bukti. Keterampilan inkuiri pada masing-masing aspek tersebut diukur dengan tes keterampilan inkuiri (TKI)

menggunakan soal-soal pilihan ganda yang diadaptasi dari soal *Scientific Inquiry Literacy Test (ScInqLiT)* yang dikembangkan oleh Wenning. Peningkatan keterampilan inkuiri peserta didik dianalisis menggunakan rata-rata *gain* skor yang dinormalisasi (*N-gain*) yang dilanjutkan uji hipotesis menggunakan *Mann-Whitney U Test* setelah sebelumnya dilakukan uji normalitas dan homogenitas data. Pengaruh implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan *bifocal modeling tools* terhadap keterampilan inkuiri peserta didik dianalisis dengan uji ukuran dampak (*size effect*). Efektivitas implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan *bifocal modeling tools* dalam meningkatkan keterampilan inkuiri peserta didik dianalisis dengan menghitung persentase peserta didik (*N*) yang memperoleh *N-gain* TKI berkategori tinggi yang dicocokkan dengan kriteria efektivitas yang dikembangkan oleh Suhandi dan Wibowo, yaitu efektivitas tinggi jika $75\% < N \leq 100\%$, sedang jika $50\% < N \leq 75\%$, dan rendah jika $N \leq 50\%$.

3. Keterampilan berpikir kritis merupakan keterampilan berpikir reflektif dan masuk akal untuk mengevaluasi suatu argumen yang difokuskan untuk mengambil keputusan tentang suatu hal yang dilakukan atau diyakini oleh peserta didik. Indikator-indikator keterampilan inkuiri yang diukur dalam penelitian ini mengacu pada domain spesifik keterampilan berpikir kritis yang dikembangkan oleh Tiruneh *et al.*, yaitu menginterpretasi hasil percobaan, mendeteksi kerancuan dan kesalahan definisi, menginterpretasi hubungan antar variabel, menarik kesimpulan *valid* dari suatu informasi yang ditampilkan dalam tabel atau gambar, mengkritisi validitas generalisasi dari suatu percobaan, memprediksi kemungkinan suatu peristiwa, dan mengevaluasi solusi suatu masalah dan mengambil keputusan berdasarkan bukti. Keterampilan berpikir kritis dalam penelitian ini diukur dengan tes keterampilan berpikir kritis (TKBK) menggunakan soal-soal uraian (*essay*) bermuatan konten untuk tiap indikator keterampilan berpikir kritis. Peningkatan keterampilan berpikir kritis peserta didik dianalisis menggunakan rata-rata *gain* skor yang dinormalisasi (*N-gain*) yang dilanjutkan uji hipotesis menggunakan *Mann-Whitney U Test* setelah sebelumnya dilakukan uji normalitas dan homogenitas data. Pengaruh

implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan *bifocal modeling tools* terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik dianalisis dengan uji ukuran dampak (*size effect*). Efektivitas implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan *bifocal modeling tools* dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis peserta didik dianalisis dengan menghitung persentase peserta didik (N) yang memperoleh N -gain TKBK berkategori tinggi yang dicocokkan dengan kriteria efektivitas yang dikembangkan oleh Suhandi dan Wibowo, yaitu efektivitas tinggi jika $75 \% < N \leq 100 \%$, sedang jika $50 \% < N \leq 75 \%$, dan rendah jika $N \leq 50 \%$.

4. Level pemahaman konsep adalah tingkatan pemahaman konsep peserta didik mulai dari tidak menjawab, tidak memahami konsep, memahami konsep secara keliru, memahami konsep sebagian, dan memahami konsep secara utuh. Level pemahaman konsep dalam penelitian ini diukur dengan tes level pemahaman konsep (TLPK) menggunakan soal-soal uraian (*essay*) yang meminta peserta didik menjelaskan makna suatu konsep fisika dan hubungan suatu konsep fisika dengan pengetahuan baru berdasarkan pengetahuan dasar yang telah dimiliki peserta didik. Peningkatan level pemahaman peserta didik dianalisis menggunakan rata-rata $gain$ skor yang dinormalisasi (N -gain) yang dilanjutkan uji hipotesis menggunakan *Mann-Whitney U Test* setelah sebelumnya dilakukan uji normalitas dan homogenitas data. Pengaruh implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan *bifocal modeling tools* terhadap level pemahaman peserta didik dianalisis dengan uji ukuran dampak (*size effect*). Efektivitas implementasi *inquiry laboratory* fisika dengan *bifocal modeling tools* dalam meningkatkan level pemahaman konsep peserta didik dianalisis dengan menghitung persentase peserta didik (N) yang memperoleh N -gain TLPK berkategori tinggi yang dicocokkan dengan kriteria efektivitas yang dikembangkan oleh Suhandi dan Wibowo, yaitu efektivitas tinggi jika $75 \% < N \leq 100 \%$, sedang jika $50 \% < N \leq 75 \%$, dan rendah jika $N \leq 50 \%$.

1.6 Struktur Organisasi Disertasi

Uraian disertasi dengan judul “**Pengembangan *Bifocal Modeling Tools* Berbasis Aplikasi *Android BM-PHY* untuk Implementasi *Inquiry Laboratory* Fisika yang Berorientasi Peningkatan Keterampilan Inkuiri, Keterampilan Berpikir Kritis, dan Level Pemahaman Konsep Peserta Didik**” ini diorganisasikan ke dalam lima bab, yaitu sebagai berikut. Bab I berisi uraian tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah penelitian, tujuan penelitian, manfaat penelitian, definisi operasional, dan struktur organisasi disertasi. Bab II memaparkan hasil kajian pustaka berupa teori-teori dan hasil-hasil penelitian yang relevan dengan masalah penelitian. Kajian pustaka dalam disertasi ini memuat teori-teori dan hasil-hasil penelitian tentang keterampilan inkuiri; keterampilan berpikir kritis; level pemahaman konsep; praktikum fisika; *bifocal modeling tools*; teknologi *Internet of Things (IoT)* yang digunakan untuk mengembangkan *bifocal modeling tools*; hubungan praktikum *bifocal modeling* dengan keterampilan inkuiri, keterampilan berpikir kritis, dan level pemahaman konsep; serta karakteristik materi ayunan bandul harmonis sederhana dan teori kinetik gas. Di bagian akhir Bab II dipaparkan tentang kerangka pikir penelitian yang disintesis berdasarkan hasil kajian pustaka. Bab III berisi uraian tentang metode penelitian, yang dijabarkan ke dalam empat bagian utama, yaitu desain penelitian, subjek dan variabel penelitian, teknik pengumpulan data, dan teknik analisis data. Bab IV berisi uraian tentang temuan penelitian dan pembahasan serta keunggulan dan kelemahannya. Bab V berisi uraian tentang simpulan, implikasi, dan rekomendasi penelitian. Di bagian akhir disertasi ini disertakan daftar pustaka dan lampiran yang disajikan secara berturut-turut setelah paparan Bab V.