

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kurikulum Merdeka menempatkan keterampilan berpikir kritis sebagai salah satu capaian pembelajaran inti yang harus dimiliki lulusan pendidikan menengah, sejalan dengan tuntutan Kemendikbudristek (2022) agar peserta didik memiliki keterampilan abad ke – 21 berupa berpikir kritis, berpikir kreatif, komunikasi, dan kolaborasi (4C). Capaian keterampilan bernalar tingkat tinggi siswa Indonesia secara nasional masih jauh dari harapan tersebut. Hasil PISA 2022 menunjukkan skor literasi sains Indonesia berada di angka 383, literasi matematika 366, dan literasi membaca 359, dengan peringkat pada kisaran ke – 67 hingga ke – 71 dari 81 negara peserta (Kemendikbudristek, 2023). Skor ini bahkan disebut setara dengan capaian Indonesia pada periode 2003 – 2006, menandakan hampir tidak ada kenaikan kualitas substantif sejak Indonesia mulai mengikuti PISA pada tahun 2000. Hanya sebagian kecil siswa usia 15 tahun di Indonesia yang mampu mencapai level 5 – 6 PISA, yaitu level yang mensyaratkan kemampuan memodelkan situasi kompleks dan mengevaluasi strategi pemecahan masalah secara mandiri – kompetensi yang identik dengan keterampilan berpikir kritis (Media Indonesia, 2023).

Capaian ini mengindikasikan adanya tantangan pada penguasaan keterampilan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills/HOTS*) yang menjadi salah satu fondasi kemampuan berpikir kritis siswa. Hal ini sejalan dengan karakteristik level kemahiran PISA itu sendiri, di mana level 5-

6 secara eksplisit mensyaratkan kemampuan memodelkan situasi kompleks dan mengevaluasi strategi penyelesaian masalah secara mandiri (Media Indonesia, 2023), kompetensi yang selaras dengan komponen HOTS. Rendahnya proporsi siswa Indonesia yang mencapai level tersebut dapat menjadi salah satu indikasi bahwa penguatan keterampilan berpikir tingkat tinggi masih memerlukan perhatian lebih lanjut dalam praktik pembelajaran di sekolah, tanpa serta-merta menyimpulkan bahwa seluruh aspek HOTS siswa Indonesia berada pada kategori rendah. Keterampilan berpikir kritis sendiri merupakan kemampuan yang memungkinkan siswa mengonseptualisasikan, menganalisis, mensintesis, dan mengevaluasi informasi untuk membuat keputusan yang rasional Facione (1990), dan menjadi prasyarat bagi siswa untuk mampu beradaptasi dengan perubahan sosial-ekonomi yang dibawa oleh revolusi industri 4.0 dan era *Society 5.0*. Isu ini menjadi krusial khususnya dalam pembelajaran sains di jenjang SMA, karena mata pelajaran seperti fisika menuntut siswa tidak hanya menghafal rumus tetapi juga mampu menalar, menginterpretasi fenomena, dan memecahkan masalah kontekstual – kompetensi yang justru menjadi titik lemah pendidikan sains Indonesia berdasarkan data PISA di atas.

Perkembangan penelitian mengenai keterampilan berpikir kritis dalam lima tahun terakhir menunjukkan pergeseran fokus dari sekadar mengukur tingkat berpikir kritis siswa menuju pengembangan bahan ajar dan model pembelajaran yang secara aktif melatihkannya. Kurniati et al. (2021), mengembangkan e-modul berbasis PBL terintegrasi STEM berbantuan media sosial dan menemukan pendekatan ini efektif meningkatkan keterampilan

berpikir kritis pada studi pendahuluan. Sejalan dengan itu, Rahmat et al. (2020), membuktikan bahwa penerapan model PBL berbantuan e-modul memberikan pengaruh signifikan terhadap kemampuan berpikir kritis siswa. Riset-riset ini secara konsisten mengonfirmasi bahwa PBL merupakan model pembelajaran yang secara teoretis dan empiris relevan untuk melatih berpikir kritis, karena mendorong siswa terlibat aktif dalam mengidentifikasi dan menyelesaikan masalah nyata.

Pada periode yang lebih baru (2023–2025), arah riset mulai bergeser ke integrasi teknologi digital dan kecerdasan buatan (AI) ke dalam e-modul. Sebagai contoh, penelitian pengembangan e-modul berbasis *Self-Organized Learning Environment* berbantuan AI pada materi kinematika, serta penelitian e-modul berbasis *Project Based Learning (PjBL)* berbantuan AI untuk memberdayakan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi siswa SMA yang dikembangkan dengan model ADDIE dan divalidasi oleh ahli materi, media, serta pendidikan dengan hasil sangat valid. Penelitian-penelitian ini menandakan bahwa pemanfaatan AI dalam bahan ajar digital misalnya untuk memberikan umpan balik otomatis dan bimbingan belajar adaptif – mulai dilihat sebagai peluang inovatif untuk memperkuat efektivitas PBL/PjBL dalam melatih berpikir kritis Mukul & Büyüközkan (2023), Mayoritas penelitian e-modul berbasis PBL yang berfokus pada mata pelajaran fisika, khususnya pada topik suhu dan kalor, masih menggunakan bahan ajar statis (LKPD cetak atau e-modul konvensional) tanpa fitur adaptif berbasis AI, sehingga proses

scaffolding berpikir kritis siswa masih bergantung penuh pada intervensi guru secara manual di kelas.

Ketika grand issue di atas ditelusuri pada tingkat materi pembelajaran, ditemukan pola masalah yang lebih konkret dan terukur, Ruhana et al. (2023), terhadap keterampilan berpikir kritis siswa SMA pada materi suhu dan kalor menunjukkan pola capaian yang timpang antar indikator: indikator memberikan penjelasan sederhana mencapai rata-rata skor 79,27 (kategori tinggi), indikator membangun keterampilan dasar hanya 56,71, dan yang paling memprihatinkan, indikator membuat kesimpulan hanya mencapai skor 26,25 (kategori sangat rendah)-dengan hanya satu dari seluruh siswa yang diuji mampu menjawab benar soal penyimpulan. Temuan ini menegaskan bahwa persoalan bukan pada seluruh aspek berpikir kritis, melainkan terkonsentrasi pada indikator bernalar tingkat lanjut seperti inferensi dan evaluasi.

Penelitian ini berpijak pada teori belajar konstruktivistik yang memandang pengetahuan dibangun siswa melalui pengalaman memecahkan masalah otentik, bukan ditransfer searah oleh guru. Secara operasional, penelitian ini mengacu pada sintaks *Problem Based Learning* yang dirumuskan Yew & Schmidt (2012), dalam *Learning to Teach*, salah satu rujukan baku (seminal reference) yang banyak diadopsi pada penelitian-penelitian PBL terindeks Scopus, yang terdiri atas lima fase: (1) orientasi peserta didik pada masalah, (2) mengorganisasikan peserta didik untuk belajar, (3) membimbing penyelidikan individu maupun kelompok, (4) mengembangkan dan menyajikan hasil karya, serta (5) menganalisis dan mengevaluasi proses pemecahan

masalah. Kelima fase ini digunakan sebagai kerangka struktur e-modul, sehingga setiap unit belajar pada e-modul secara sistematis membimbing siswa dari pengenalan masalah kontekstual suhu dan kalor hingga evaluasi proses berpikirnya sendiri.

Indikator ukur variabel terikat, penelitian ini mengadopsi kerangka keterampilan berpikir kritis dari Facione (1990), yang meliputi interpretasi, analisis, evaluasi, inferensi, eksplanasi, dan regulasi diri-kerangka yang juga selaras dengan indikator yang digunakan pada studi rujukan suhu dan kalor sebelumnya, Ruhana et al. (2023). Adapun peran AI dalam e-modul diposisikan sebagai scaffolding digital yang menjembatani fase ketiga dan kelima sintaks PBL (penyelidikan dan evaluasi), yaitu memberikan umpan balik otomatis dan bantuan bertahap siswa mengalami kesulitan pada indikator bernalar tingkat lanjut seperti inferensi dan evaluasi-titik lemah yang paling menonjol pada data empiris di atas.

Berdasarkan sintesis *state of the art* dan data empiris tersebut, teridentifikasi tiga celah penelitian (*research gap*) yang saling berkaitan. Pertama, gap konten-model: penelitian e-modul berbasis PBL pada materi suhu dan kalor untuk jenjang SMA masih terbatas dan umumnya belum berbasis AI, sementara penelitian e-modul berbasis AI-PBL/PjBL yang sudah ada misalnya pengembangan e-modul berbasis *Self-Organized Learning Environment* berbantuan AI pada materi kinematika, serta e-modul berbasis *Project Based Learning (PjBL)* berbantuan AI untuk memberdayakan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi lebih banyak dikembangkan pada mata pelajaran biologi,

kimia, atau materi fisika lain (kinematika), bukan pada suhu dan kalor. Kedua, gap ketepatan sasaran indikator: penelitian-penelitian terdahulu, termasuk Kurniati et al. (2021), serta Rahmat et al. (2020), umumnya melaporkan keterampilan berpikir kritis secara agregat (skor total) tanpa merancang intervensi yang secara spesifik menasar indikator dengan capaian terendah (inferensi/membuat kesimpulan), sebagaimana ditemukan pada studi Ruhana et al. (2023). Ketiga, gap konteks implementasi dan pengujian efektivitas: sebagian besar penelitian pengembangan e-modul AI sejenis berhenti pada tahap validasi kelayakan produk oleh ahli tanpa dilanjutkan pada uji efektivitas terhadap peningkatan berpikir kritis pada konteks kelas nyata, sehingga dampak aktualnya terhadap siswa di lapangan belum banyak terungkap secara empiris.

Kebaruan (novelty) penelitian ini terletak pada penggabungan tiga elemen yang pada penelitian – penelitian terdahulu umumnya dikembangkan secara terpisah: (1) e-modul berbasis sintaks PBL Yew & Schmidt (2012), yang dirancang khusus untuk mengoreksi miskonsepsi suhu dan kalor; (2) fitur kecerdasan buatan yang diarahkan secara presisi untuk memberi *scaffolding* pada indikator berpikir kritis dengan capaian terendah (inferensi dan evaluasi, bukan bantuan generik untuk seluruh materi; dan (3) uji efektivitas pada konteks nyata siswa kelas XI SMAN 1 Nglames. Penelitian ini tidak sekedar mereplikasi pengembangan e-modul PBL atau e-modul AI yang sudah banyak dilakukan, melainkan menawarkan model intervensi yang menasar secara tertarget titik lemah berpikir kritis yang telah dipetakan melalui data empiris, sekaligus

menempatkan AI sebagai instrument diagnostic-formatif dalam siklus PBL, bukan sekedar sebagai alat penyajian materi.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk: Mengembangkan e-modul berbasis *Problem Based Learning* berbantuan kecerdasan buatan pada materi suhu dan kalor untuk siswa kelas XI SMAN 1 Nglames, Menganalisis kelayakan (validasi) e-modul yang dikembangkan berdasarkan penilaian ahli, guru, dan respon siswa, Menganalisis efektivitas e-modul tersebut dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa kelas XI SMAN 1 Nglames pada materi suhu dan kalor, khususnya pada indikator inferensi/membuat kesimpulan.

Berdasarkan penjelasan tersebut, peneliti berminat untuk melaksanakan penelitian dengan judul “**Pengembangan e-Modul *AI Kontekstual Problem Based Learning* Untuk Meningkatkan Berpikir Kritis Siswa SMA Negeri 1 Nglames Kelas XI Pada Materi Suhu dan Kalor**”.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan batasan penelitian yang sudah dijelaskan, permasalahan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses pengembangan e-modul AI kontekstual berbasis Problem Based Learning pada materi suhu dan kalor untuk siswa kelas XI SMAN 1 Nglames?
2. Bagaimana respon siswa terhadap penggunaan e-modul AI Berbasis Problem Based Learning di SMAN 1 Nglames?
3. Apakah e-modul AI kontekstual berbasis Problem Based Learning efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa kelas XI SMAN 1 Nglames pada materi suhu dan kalor?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

- A. Mengembangkan e-modul AI kontekstual berbasis Problem Based Learning pada materi suhu dan kalor untuk siswa kelas XI SMA.
- B. Mengetahui respon siswa terhadap implementasi e-modul AI berbasis Problem Based Learning.
- C. Menganalisis efektivitas e-modul AI kontekstual berbasis Problem Based Learning dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa kelas XI SMA pada materi suhu dan kalor.

D. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan bisa bermanfaat baik secara teori dalam memajukan ilmu pendidikan, terutama di bidang pembelajaran fisika pada jenjang sekolah menengah atas (SMA).

1. Manfaat Teoritis

Penelitian ini memberikan manfaat bagi ilmu pengetahuan, terutama di bidang teknologi pendidikan, dengan cara memperluas pemahaman tentang pengembangan media digital yang digunakan bersamaan dengan kecerdasan buatan (AI). Dengan penelitian ini, kita bisa lebih mengerti bagaimana AI bisa dimanfaatkan dalam e-modul untuk membantu proses belajar fisika, mulai dari memberi umpan balik secara otomatis, membantu siswa bertahap, hingga memantau perkembangan belajar mereka. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa AI bukan hanya sebagai alat bantu semata, tetapi juga bisa berperan sebagai fasilitator dalam belajar, khususnya dalam meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Penelitian ini membantu memperluas pemahaman teoritis tentang penerapan teknologi cerdas dalam pembelajaran berbasis sains.

Hasil penelitian ini bisa digunakan sebagai referensi oleh peneliti lain yang ingin membuat media pembelajaran berbasis *Problem Based Learning (PBL)* yang dilengkapi dengan fitur kecerdasan buatan. Penelitian ini menampilkan contoh nyata tentang cara sintaks PBL dapat digunakan dalam e-modul digital, bagaimana AI dapat memperkuat proses penyelesaian masalah, serta bagaimana penilaian kemampuan berpikir kritis

dapat dilakukan dengan bantuan teknologi. Penelitian ini juga bisa menjadi acuan untuk membuat media atau platform belajar lainnya yang menggunakan AI bersama dengan cara belajar yang baru dan kreatif. Secara lain, penelitian ini dapat dijadikan dasar untuk membuat produk lebih luas di masa depan, baik untuk pelajaran fisika maupun bidang studi lainnya.

2. Manfaat Praktis

Bagi guru: Penelitian ini memberikan manfaat nyata bagi para guru, terutama guru mata pelajaran fisika, sebagai acuan dalam menciptakan dan menggunakan e-modul yang lebih inovatif serta sesuai dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21. Guru dapat menggunakan e-modul berbasis AI dan PBL sebagai contoh bagaimana teknologi kecerdasan buatan bisa diaplikasikan dalam pembelajaran, mulai dari memberikan umpan balik secara otomatis, merancang soal berbasis masalah, hingga membimbing proses belajar siswa. Guru juga mendapatkan panduan yang praktis dalam menerapkan pendekatan *Problem Based Learning* secara lebih terorganisasi, efektif, dan menarik, sehingga dapat meningkatkan partisipasi dan kemandirian siswa. Adanya produk ini, guru dapat meningkatkan kreativitas dalam membuat media pembelajaran yang fleksibel dan mampu mendukung berpikir kritis serta berpikir tingkat tinggi.

Bagi siswa: E-modul ini dibuat agar siswa bisa memahami konsep suhu dan kalor dengan lebih dalam, menggunakan pendekatan berbasis masalah. Fitur AI yang terintegrasi membantu siswa mendapatkan bantuan belajar yang lebih sesuai dengan kebutuhan mereka, seperti petunjuk

langkah demi langkah, penjelasan konsep yang jelas, dan umpan balik otomatis setelah menjawab soal. Metode pembelajaran *Problem Based Learning*, siswa terbiasa menyelesaikan masalah nyata, menganalisis informasi, serta meningkatkan kemampuan berpikir kritis. Hal ini membuat pengalaman belajar lebih aktif, mandiri, dan bermakna dibandingkan metode pembelajaran biasa. Akhirnya, siswa tidak hanya paham materi, tetapi juga lebih terlatih dalam berpikir kritis.

Bagi sekolah: penelitian ini dapat memberikan masukan dalam pengembangan program dan inovasi pembelajaran yang mendukung peningkatan kemampuan berpikir kritis. Hasil penelitian ini juga dapat digunakan untuk memperkuat implementasi kurikulum merdeka belajar, yang menekankan pentingnya integrasi antara pengetahuan, keterampilan, dan sikap melalui pembelajaran berbasis proyek dan kolaboratif.

Bagi peneliti: Penelitian ini bisa menjadi acuan bagi peneliti lain yang ingin membuat media pembelajaran digital serupa, terutama yang menggabungkan AI dalam metode *Problem Based Learning*. Penelitian ini bisa digunakan sebagai dasar teori maupun praktek untuk penelitian lebih lanjut, seperti pengembangan e-modul pada materi yang berbeda, pemanfaatan AI dalam mengevaluasi kemampuan berpikir kritis, atau penerapan teknologi AI yang lebih canggih dalam proses belajar mengajar. Penelitian ini membuka kesempatan bagi peneliti untuk melanjutkan atau memperluas penelitian terkait efektivitas media pembelajaran berbasis AI, baik dalam hal desain, penerapan, maupun penilaian.

E. Spesifikasi Produk

Produk yang dihasilkan dalam penelitian ini adalah e-modul berbasis kecerdasan buatan (*Artificial Intelligence/AI*) dengan pendekatan *Problem Based Learning (PBL)* kontekstual pada materi suhu dan kalor untuk siswa kelas XI SMA. Produk ini dikembangkan menggunakan model ADDIE dan diintegrasikan dengan teknologi Google AI Studio sebagai motor kecerdasan buatan. Spesifikasi produk yang dikembangkan adalah sebagai berikut:

1. Bentuk dan Format Produk: E-modul dikembangkan dalam format digital berbasis web yang dapat diakses melalui perangkat komputer, laptop, tablet, maupun smartphone dengan koneksi internet. E-modul disajikan dalam tampilan antarmuka yang responsif, interaktif, dan ramah pengguna (*user-friendly*), dengan desain visual yang menarik untuk mendukung motivasi belajar siswa.
2. Konten dan Struktur Materi: E-modul mencakup materi Suhu dan Kalor kelas XI SMA sesuai Kurikulum Merdeka, yang meliputi: (a) konsep suhu dan termometer, (b) pemuaian zat, (c) kalor dan kapasitas kalor, (d) perubahan wujud zat dan kalor laten, (e) asas Black, serta (f) perpindahan kalor (konduksi, konveksi, dan radiasi). Setiap subbab disajikan dalam sintaks PBL yang terdiri dari lima tahap: orientasi masalah, pembentukan kelompok, investigasi

mandiri/kelompok, pengembangan dan penyajian hasil, serta analisis dan refleksi.

3. Fitur Kecerdasan Buatan (AI): E-modul dilengkapi dengan fitur AI yang dibantu oleh Google AI Studio, meliputi: (a) sistem umpan balik otomatis dan adaptif atas jawaban siswa, (b) chatbot tutor virtual yang mampu menjawab pertanyaan siswa secara *real-time*, (c) pertanyaan reflektif adaptif yang disesuaikan dengan tingkat pemahaman siswa, (d) sistem rekomendasi materi tambahan berdasarkan pola kesalahan siswa, serta (e) evaluasi otomatis yang memantau perkembangan kemampuan berpikir kritis setiap siswa secara berkelanjutan.
4. Elemen Multimedia: E-modul memuat berbagai elemen multimedia pendukung, antara lain: teks penjelasan konseptual, gambar dan ilustrasi fenomena fisika, animasi proses perpindahan kalor, video penguatan konsep, soal latihan berbasis masalah kontekstual (soal HOTS), serta lembar kerja siswa (LKS) digital yang terintegrasi dalam alur PBL.
5. Aspek Penilaian dan Evaluasi: E-modul dilengkapi dengan instrumen tes kemampuan berpikir kritis yang mengacu pada indikator Ennis, yaitu: penjelasan sederhana (*elementary clarification*), dasar pengambilan keputusan (*basic support*), inferensi (*inference*), penjelasan lanjut (*advanced clarification*), serta strategi dan taktik (*strategy and tactics*). Penilaian dilakukan

secara formatif melalui umpan balik AI dan secara sumatif melalui pretest dan posttest.

6. Sasaran Pengguna: E-modul ini dirancang khusus untuk siswa kelas XI SMA pada mata pelajaran fisika, khususnya pada materi suhu dan kalor. Produk ini dapat digunakan secara mandiri oleh siswa maupun secara terbimbing oleh guru dalam kegiatan pembelajaran di kelas atau sebagai bahan belajar di luar jam pelajaran.

F. Pentingnya Pengembangan

Pengembangan e-modul AI kontekstual berbasis *Problem Based Learning* ini memiliki urgensi yang tinggi dalam konteks pendidikan fisika di Indonesia saat ini. Terdapat beberapa alasan mendasar yang menjadikan pengembangan produk ini penting untuk dilaksanakan.

Pertama, rendahnya kemampuan berpikir kritis siswa. Berbagai hasil penelitian menunjukkan bahwa kemampuan berpikir kritis siswa SMA di Indonesia, khususnya pada mata pelajaran fisika materi suhu dan kalor, masih tergolong rendah dan perlu segera ditingkatkan Lubis & Sabani (2023); Ekasari & Jaya Putra (2025). Pembelajaran yang masih berpusat pada guru (*teacher-centered*) dan kurangnya media pembelajaran yang mendorong keterlibatan aktif siswa menjadi faktor utama rendahnya kemampuan tersebut. Kondisi ini menuntut kehadiran media pembelajaran inovatif yang mampu menstimulasi proses berpikir tingkat tinggi secara efektif.

Kedua, keterbatasan media pembelajaran fisika berbasis teknologi. Meskipun perkembangan teknologi digital telah sangat pesat, ketersediaan media pembelajaran fisika berbasis digital yang mengintegrasikan kecerdasan buatan (AI) secara fungsional dalam proses pembelajaran masih sangat terbatas, terutama untuk materi suhu dan kalor Putri et al. (2026); Afiliyani (2024), besar e-modul yang ada saat ini belum memanfaatkan AI secara optimal, sehingga belum mampu memberikan pengalaman belajar yang personal dan adaptif sesuai kebutuhan masing-masing siswa.

Ketiga, tuntutan implementasi Kurikulum Merdeka. Kurikulum Merdeka yang diimplementasikan oleh Kemendikbudristek (2022) secara eksplisit mendorong pengembangan pembelajaran yang berpusat pada siswa, berbasis proyek, dan berorientasi pada pengembangan profil pelajar pancasila, khususnya dimensi bernalar kritis dan kreatif. Implementasi tuntutan tersebut membutuhkan media pembelajaran inovatif yang tidak hanya menyampaikan konten, tetapi juga memfasilitasi proses berpikir tingkat tinggi siswa secara terstruktur dan sistematis.

Keempat, potensi besar AI dalam transformasi pembelajaran. Kecerdasan buatan telah terbukti mampu mentransformasi pengalaman belajar menjadi lebih personal, adaptif, dan efektif. Kuhail et al. (2023), menegaskan bahwa pemanfaatan AI dalam pembelajaran berpotensi meningkatkan kualitas interaksi antara siswa dengan materi secara signifikan. Implementasi AI dalam media pembelajaran fisika di sekolah menengah atas masih sangat terbatas, sehingga pengembangan e-modul

yang mengintegrasikan AI secara pedagogis dan fungsional menjadi sebuah kebutuhan yang mendesak.

Kelima, miskonsepsi yang tinggi pada materi suhu dan kalor. Materi suhu dan kalor merupakan salah satu topik fisika yang paling banyak menimbulkan miskonsepsi di kalangan siswa SMA, seperti menyamakan konsep suhu dan kalor, atau salah memahami mekanisme perpindahan kalor Ekasari & Jaya Putra (2025). Miskonsepsi ini tidak dapat diatasi hanya dengan metode ceramah konvensional, melainkan membutuhkan pendekatan pembelajaran yang mendorong siswa untuk mengonstruksi pemahaman konsep secara mandiri melalui pemecahan masalah kontekstual yang difasilitasi oleh media interaktif berbasis AI.

Berdasarkan kelima alasan tersebut, pengembangan e-modul AI kontekstual berbasis *Problem Based Learning* ini merupakan upaya yang sangat relevan, inovatif, dan dibutuhkan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran fisika, khususnya dalam menumbuhkan kemampuan berpikir kritis siswa kelas XI SMA pada materi suhu dan kalor. Produk ini diharapkan dapat menjadi model pengembangan media pembelajaran digital yang dapat diadaptasi dan dikembangkan lebih lanjut untuk materi fisika dan bidang studi lainnya di masa mendatang.

G. Definisi Operasional Variabel

E-Modul: adalah materi pembelajaran digital yang disusun secara rapi dan interaktif untuk membantu proses belajar mandiri atau kelompok. E-modul bisa dibuka menggunakan berbagai perangkat elektronik seperti ponsel, laptop, atau tablet, sehingga siswa bisa belajar kapan dan di mana saja. Penelitian ini, e-modul dilengkapi dengan berbagai fitur multimedia seperti teks, gambar, animasi, video, dan soal interaktif yang membuat siswa lebih mudah memahami materi tentang suhu dan kalor. E-modul juga memiliki navigasi yang memudahkan siswa dalam mengakses materi secara terorganisir.

Artificial Intelligence (AI): adalah teknologi yang membolehkan sistem komputer menganalisis data, mengenali pola, dan memberikan jawaban seperti cara pikiran manusia. E-modul penelitian ini, AI berperan sebagai penolong dalam proses belajar melalui beberapa fitur berikut:

- a. memberikan umpan balik otomatis ketika siswa menjawab soal.
- b. menyarankan materi pembelajaran sesuai kebutuhan siswa,
- c. mengevaluasi tingkat pemahaman siswa,
- d. memberikan petunjuk atau bantuan secara otomatis ketika siswa mengalami kesulitan.
- e. Dengan menggunakan AI, proses belajar menjadi lebih menyesuaikan kebutuhan siswa, fleksibel, dan lebih efisien.

Problem Based Learning (PBL): adalah metode pembelajaran yang menggunakan masalah atau situasi nyata sebagai dasar pembelajaran. Dalam metode ini, siswa diminta untuk:

- a. mengenali masalah
- b. mencari informasi
- c. menganalisis berbagai kemungkinan solusi
- d. menyusun jawaban yang didasarkan pada bukti ilmiah.

Penelitian PBL digunakan sebagai dasar dalam membuat e-modul untuk melatih kemampuan berpikir kritis siswa ketika mempelajari materi suhu dan kalor melalui penyajian masalah yang relevan dengan kehidupan sehari-hari.

Berpikir Kritis: adalah kemampuan yang dimiliki siswa untuk menganalisis informasi dengan dalam, mengevaluasi argumen yang diajukan, menghubungkan berbagai konsep, serta membuat kesimpulan berdasarkan logika dan bukti yang ada. Kemampuan ini mencakup keahlian dalam menginterpretasi data, menilai kebenaran suatu pernyataan, memecahkan masalah secara terarah, serta mengambil keputusan yang tepat. Dalam konteks penelitian, berpikir kritis dapat diukur melalui beberapa indikator seperti merumuskan masalah secara jelas, menganalisis data secara cermat, memahami hubungan penyebab dan akibat, serta mengevaluasi berbagai solusi dalam konteks fisika suhu dan kalor.

Suhu dan Kalor: adalah topik dalam Fisika yang membahas konsep seperti suhu, kalor, cara kalor berpindah (melalui konduksi, konveksi, dan radiasi), perubahan bentuk zat, asas black, pemuaian, serta bagaimana hal-hal tersebut berperan dalam kehidupan sehari-hari. Topik ini memiliki banyak contoh nyata yang dapat digunakan sebagai dasar dalam model PBL, sehingga cocok untuk melatih kemampuan berpikir kritis siswa kelas XI.

Pengembangan Produk: adalah cara yang teratur dan sistematis yang mencakup beberapa tahapan seperti menganalisis kebutuhan, merencanakan, merancang, membuat, menguji, mengevaluasi, serta memperbaiki produk pembelajaran agar memenuhi standar yang baik. Penelitian ini, pengembangan produk menggunakan model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) sehingga e-modul yang dihasilkan dapat digunakan dengan baik dan mampu meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa.

Siswa SMA: adalah peserta didik yang sedang duduk di tingkat Sekolah Menengah Atas, dengan usia sekitar 15 hingga 18 tahun. Mereka berada dalam tahap perkembangan kognitif operasional formal menurut teori piaget. Pada tahap ini, siswa sudah bisa berpikir abstrak, melakukan penalaran logis, serta memahami konsep ilmiah yang rumit. Dalam penelitian ini, siswa SMA yang dimaksud adalah siswa kelas XI di SMAN 1 Nglames. Mereka menjadi subjek dalam pengembangan dan penerapan e-modul AI berbasis *Problem Based Learning*, terutama pada materi suhu dan kalor. Siswa kelas XI dianggap sudah siap secara optimal untuk menerima

pembelajaran berbasis masalah, menganalisis informasi, serta dilatih kemampuan berpikir kritis melalui kegiatan penyelidikan ilmiah dalam e-modul digital.