

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Abad ke-21 menuntut peserta didik memiliki kemampuan berpikir kreatif sebagai kompetensi esensial dalam menghadapi persoalan nyata yang kompleks, bukan sekadar penguasaan konsep secara faktual. Kemampuan berpikir kreatif didefinisikan Torrance (1974, dalam Alabbasi et al. 2022) sebagai proses kognitif dalam menghasilkan gagasan baru yang tercermin melalui empat indikator, yaitu kelancaran (*fluency*), keluwesan (*flexibility*), keaslian (*originality*), dan elaborasi (*elaboration*); kerangka ini menjadi acuan konseptual utama penelitian ini karena representatif digunakan secara luas dalam penelitian pembelajaran *STEM* (Qadafi. M et al., 2022). Capaian kemampuan berpikir kreatif peserta didik Indonesia tercatat masih jauh dari memadai. Hasil *PISA 2022 Creative Thinking* mencatat skor rata-rata Indonesia hanya 19 dari skala 60, jauh di bawah rata-rata *OECD* sebesar 33; hanya 31% peserta didik mencapai kompetensi dasar dibandingkan 78% rata-rata *OECD*, dan hanya 5% tergolong *top performer* dibandingkan 27% rata-rata *OECD* (*OECD*, 2024). Data tersebut menegaskan bahwa kesenjangan kemampuan berpikir kreatif merupakan persoalan nyata dalam sistem pendidikan sains Indonesia yang membutuhkan intervensi pembelajaran yang tepat.

Perubahan iklim dan pemanasan global merupakan salah satu persoalan yang menuntut kemampuan berpikir kreatif tersebut, karena melibatkan interaksi kompleks antara aspek fisika, lingkungan, teknologi, dan kebijakan

publik yang penyelesaiannya memerlukan berbagai alternatif solusi ilmiah. Urgensi permasalahan ini tercermin dari data konsentrasi CO₂ atmosfer global yang terus meningkat dari sekitar 416 ppm pada tahun 2022 menjadi lebih dari 427 ppm pada pertengahan tahun 2026 (Lan et al., 2026), seiring dengan meningkatnya *radiative forcing* akibat gas rumah kaca yang saat ini telah mencapai 2,72 W/m² (rentang 1,96–3,48 W/m²) sejak era industri 1750–2019 (IPCC, 2021). Dampak perubahan iklim juga telah dirasakan secara langsung di Indonesia, sebagaimana tercatat pada kejadian curah hujan ekstrem yang terjadi di sejumlah daerah di Indonesia pada April 2026 (BMKG, 2026). Karakteristik materi ini sekaligus menjadikannya konteks pembelajaran fisika yang relevan dan bermakna, sehingga memerlukan pendekatan yang mengintegrasikan berbagai disiplin ilmu sambil memberi ruang investigasi terhadap permasalahan nyata.

Pendekatan *Science, Technology, Engineering, and Mathematics–Project Based Learning (STEM-PjBL)* berkembang untuk menjawab kebutuhan tersebut melalui aktivitas penyelesaian proyek berorientasi masalah autentik (Roslina et al., 2022), Mahombar. A et al. (2023) melalui meta-analisis melaporkan pengaruh STEM-PjBL terhadap kemampuan berpikir kreatif dengan *effect size* sebesar 3,49, diperkuat Kwon & Lee (2025) yang memperoleh *effect size* 3,888 dari delapan penelitian dengan tiga belas *effect size*. Efektivitas tersebut turut dikonfirmasi lintas konteks: Baran et al. (2021) melaporkan peningkatan otonomi dan kepedulian lingkungan peserta didik, Muzana et al. (2021) melaporkan peningkatan literasi TIK dan pemecahan masalah, serta Lin

et al. (2021) melaporkan penguatan kemampuan mendefinisikan masalah dan mengevaluasi solusi melalui integrasi *engineering design*. Rangkaian temuan tersebut memperlihatkan pergeseran arah riset STEM-PjBL, dari sebatas pembuktian efektivitas dasar menuju eksplorasi integrasi dengan teknologi digital yang lebih adaptif dan personal bagi kebutuhan belajar abad ke-21.

Kesesuaian *STEM-PjBL* dengan pengembangan berpikir kreatif dapat dijelaskan melalui pemetaan langsung terhadap keempat indikator Torrance (1974, dalam Alabbasi et al. 2022): eksplorasi berbagai alternatif solusi mendukung *fluency*, analisis berbagai kemungkinan penyelesaian mendukung *flexibility*, penyusunan solusi berbeda dari kelompok lain mendorong *originality*, sedangkan penyempurnaan desain proyek secara bertahap mengembangkan *elaboration*. Efektivitas pemetaan tersebut pada praktiknya sangat bergantung pada kualitas media pembelajaran yang memfasilitasi eksplorasi interaktif, umpan balik langsung, dan pengamatan konsekuensi atas setiap keputusan peserta didik selama investigasi berlangsung.

Menurut studi terdahulu yang dilakukan oleh Maryati & Nurkayati (2021), ditemukan bahwa kemampuan berpikir kreatif matematis siswa berdasarkan indikator adalah *fluency* sebesar 56,67% (kategori cukup), *flexibility* sebesar 26,67% (kategori kurang), *originality* sebesar 40,00% (kategori cukup), dan *elaboration* sebesar 46,67% (kategori cukup). Hasil ini sejalan dengan temuan hasil observasi awal peneliti, di mana indikator *originality* justru mencapai nilai tertinggi (73,2%), diikuti *fluency* (70,6%), sementara *flexibility* (64,5%) dan *elaboration* (58,5%) tergolong lebih rendah

dengan elaboration sebagai titik terlemah. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa kelemahan pada indikator *flexibility* maupun *elaboration* dapat bervariasi tergantung pada karakteristik materi dan konteks pembelajaran yang diteliti.

Penelitian mengenai *STEM-PjBL* dan pemanfaatan *Artificial Intelligence* (AI) dalam pembelajaran umumnya berkembang secara terpisah. Kajian *STEM-PjBL* lebih banyak berfokus pada efektivitas model terhadap hasil belajar tanpa dukungan media pembelajaran berbasis AI, sedangkan Penelitian AI lebih banyak diarahkan pada pengembangan sistem pendamping belajar (Almasri, 2024; Kasneci et al., 2023; Wang & Li, 2026), namun penerapannya belum banyak diintegrasikan secara terstruktur ke dalam tahapan pembelajaran *STEM-PjBL*. Simulasi virtual pembelajaran perubahan iklim yang tersedia pun umumnya masih terbatas pada visualisasi konsep, belum memberi kesempatan kepada peserta didik untuk mengubah parameter secara bebas maupun memperoleh umpan balik ilmiah selama proses investigasi. Kondisi tersebut menunjukkan masih terbukanya ruang pengembangan media pembelajaran yang memadukan *STEM-PjBL*, simulasi yang akurat secara ilmiah, dan *AI* secara bersamaan.

Penelitian ini mengembangkan *EduPhy-AI* sebagai respon atas celah tersebut, yaitu media pembelajaran berbasis *AI* yang mendukung penerapan *STEM-PjBL* pada materi perubahan iklim. Berbeda dari simulasi virtual yang hanya menampilkan visualisasi, *EduPhy-AI* menghitung perubahan suhu global dan konsentrasi karbon dioksida menggunakan metode perhitungan

numerik *Runge–Kutta* Orde Empat (RK4) yang akurat secara ilmiah, sehingga hasil simulasi lebih mendekati kondisi nyata dibandingkan simulasi visual biasa. Simulasi tersebut didampingi *AI Tutor* yang memberikan penjelasan konsep, pertanyaan pemantik, dan umpan balik secara langsung kepada peserta didik. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan tiga hal yang sebelumnya jarang dipadukan sekaligus, yaitu pendekatan *STEM-PjBL*, simulasi numerik yang akurat, dan *AI Tutor*, untuk membantu peserta didik mengembangkan kemampuan berpikir kreatif pada materi perubahan iklim dan pemanasan global.

B. Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki beberapa batasan agar ruang lingkup kajian lebih fokus dan terarah.

1. **Subjek dan Materi Penelitian** Penelitian ini terbatas pada siswa kelas X-1 SMA Negeri 4 Madiun. Pemilihan jenjang ini bertujuan untuk menjaga keseragaman karakteristik peserta didik. Materi fisika yang dipelajari difokuskan pada topik Perubahan Iklim dan Pemanasan Global sesuai dengan kurikulum yang berlaku.
2. **Model Pembelajaran** Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini dibatasi pada pendekatan STEM-PjBL (*Science, Technology, Engineering, and Mathematics*) dan model pembelajaran *Project Based Learning*. Penelitian ini tidak menguji atau membandingkan model lain seperti STEAM, PBL, atau *inquiry learning*, karena fokus utama adalah mengukur efektivitas spesifik dari pendekatan STEM-PjBL.

3. **Aspek yang Diukur (Variabel Terikat)** Fokus pengukuran dalam penelitian ini hanya pada kemampuan berpikir kreatif siswa. Evaluasi dilakukan melalui instrumen *pretest* dan *posttest* yang mencakup empat indikator utama:

- a. **Kelancaran** (*fluency*)
- b. **Keluwes** (*flexibility*)
- c. **Orisinalitas** (*originality*)
- d. **Elaborasi** (*elaboration*)

Aspek lain seperti berpikir kritis, kolaborasi, motivasi, atau hasil belajar kognitif berada di luar lingkup penelitian ini.

4. **Konteks Pembelajaran** Penelitian ini dibatasi pada kegiatan pembelajaran formal di dalam kelas. Hal-hal yang terjadi di luar kendali peneliti seperti aktivitas ekstrakurikuler, proyek mandiri di rumah, atau kegiatan nonformal lainnya tidak diperhitungkan dalam analisis data, meskipun mungkin berpengaruh terhadap kemampuan siswa.

Durasi intervensi pembelajaran dengan pendekatan STEM-PjBL dibatasi dalam rentang waktu tertentu (misalnya selama satu siklus pembelajaran atau beberapa pertemuan) sesuai dengan jadwal dan kalender akademik yang berlaku di sekolah. Dengan demikian, penelitian ini tidak menganalisis efek jangka panjang dari penerapan pendekatan STEM-PjBL terhadap perkembangan kemampuan berpikir kreatif siswa.

Penelitian ini juga tidak meneliti secara mendalam pengaruh variabel eksternal seperti latar belakang siswa, kompetensi guru, maupun ketersediaan

sarana dan prasarana pembelajaran, meskipun faktor-faktor tersebut dapat berkontribusi terhadap hasil belajar.

Dengan adanya batasan-batasan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat fokus pada tujuan utamanya, yaitu mengetahui efektivitas pendekatan STEM-PjBL dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa pada topik bahasan materi perubahan iklim dan pemanasan global kelas X-1 SMA Negeri 4 Madiun. Fokus yang jelas akan mempermudah analisis data serta menghasilkan temuan yang lebih mendalam, terarah, dan aplikatif dalam konteks pembelajaran fisika di sekolah menengah.

C. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan identifikasi masalah yang telah dijelaskan, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seberapa besar kategori peningkatan kemampuan berpikir kreatif siswa sebelum dan sesudah penerapan pendekatan STEM-PjBL berbantuan EduPhy-AI pada setiap indikator berpikir kreatif (*fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration*) berdasarkan nilai *N-Gain*?
2. Apakah penerapan pendekatan STEM-PjBL berbantuan aplikasi simulasi virtual EduPhy-AI efektif dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa pada topik perubahan iklim dan pemanasan global di kelas X-1 SMA Negeri 4 Madiun, ditinjau dari perbedaan rata-rata skor *pretest* dan *posttest* berdasarkan *effect size*?

3. Bagaimana keterlaksanaan proses pembelajaran STEM-PjBL berbantuan EduPhy-AI dalam mendorong kemampuan berpikir kreatif siswa berdasarkan hasil observasi selama pembelajaran berlangsung?

D. Tujuan Penelitian

Tujuan utama penelitian ini adalah untuk mengetahui efektivitas penerapan pendekatan pembelajaran STEM-PjBL berbantuan aplikasi simulasi virtual terintegrasi *Artificial Intelligence* "EduPhy-AI" terhadap peningkatan kemampuan berpikir kreatif siswa dalam mata pelajaran fisika pada topik perubahan iklim dan pemanasan global di kelas X-1 SMA Negeri 4 Madiun.

Secara lebih spesifik, tujuan penelitian ini dirinci sebagai berikut:

1. Mendeskripsikan besaran kategori peningkatan kemampuan berpikir kreatif siswa sebelum dan sesudah penerapan pendekatan *STEM-PjBL* berbantuan *EduPhy-AI* pada setiap indikator berpikir kreatif (*fluency*, *flexibility*, *originality*, dan *elaboration*) berdasarkan nilai *N-Gain*.
2. Menganalisis efektivitas penerapan pendekatan STEM-PjBL berbantuan EduPhy-AI dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa pada materi perubahan iklim dan pemanasan global di kelas X-1 SMA Negeri 4 Madiun, ditinjau dari perbedaan rata-rata skor *pretest* dan *posttest* berdasarkan *effect size*.
3. Mendeskripsikan keterlaksanaan proses pembelajaran *STEM-PjBL* berbantuan *EduPhy-AI* dalam mendorong kemampuan berpikir kreatif siswa berdasarkan hasil observasi selama pembelajaran berlangsung.

E. Kegunaan Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat baik secara teoretis maupun praktis dalam pengembangan ilmu pendidikan, khususnya pada bidang pendidikan fisika di tingkat sekolah menengah atas (SMA).

1. Manfaat Teoretis

Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah terhadap pengembangan kajian tentang efektivitas pendekatan pembelajaran berbasis *STEM-PjBL* berbantuan aplikasi simulasi virtual *EduPhy-AI* dalam meningkatkan kemampuan berpikir kreatif siswa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur dan memperluas pemahaman mengenai bagaimana integrasi sains, teknologi, rekayasa, dan matematika dalam proses pembelajaran dapat mendorong munculnya kreativitas siswa, terutama dalam konteks pembelajaran fisika yang berkaitan dengan isu lingkungan seperti perubahan iklim dan pemanasan global.

Selain itu, penelitian ini juga diharapkan dapat mendukung pengembangan teori pembelajaran interdisipliner yang berorientasi pada penguatan keterampilan berpikir tingkat tinggi (*Higher Order Thinking Skills*), khususnya berpikir kreatif sebagai salah satu kompetensi penting abad ke-21.

2. Manfaat Praktis

Dari sisi praktis, hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain:

- a. Bagi guru fisika, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam memilih, merancang, dan menerapkan strategi pembelajaran berbasis *STEM-PjBL* berbantuan aplikasi simulasi virtual *EduPhy-AI* yang sesuai dengan karakteristik siswa dan materi pelajaran. Guru dapat menggunakan temuan penelitian ini untuk mengembangkan aktivitas pembelajaran yang kreatif, kontekstual, dan berorientasi pada pemecahan masalah nyata, sehingga pembelajaran fisika menjadi lebih bermakna dan menarik bagi siswa.
- b. Bagi sekolah, penelitian ini dapat memberikan masukan dalam pengembangan program dan inovasi pembelajaran yang mendukung peningkatan kemampuan berpikir kreatif peserta didik. 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.
- c. Bagi perancang kurikulum dan pengambil kebijakan pendidikan, hasil penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam penyusunan kebijakan pembelajaran interdisipliner berbasis *STEM-PjBL* berbantuan aplikasi simulasi virtual *EduPhy-AI* yang relevan dengan tantangan global, khususnya dalam isu-isu lingkungan seperti perubahan iklim. Data empiris dari penelitian ini diharapkan dapat digunakan untuk mendukung program peningkatan kapasitas guru serta

pengembangan perangkat ajar yang mendorong kreativitas dan inovasi siswa.

- d. Bagi peneliti lain, penelitian ini dapat menjadi referensi atau titik awal bagi penelitian lanjutan terkait penerapan pendekatan STEM-PjBL berbantuan aplikasi simulasi virtual EduPhy-AI dalam berbagai konteks, baik dengan memperluas topik kajian ke bidang lain, memperpanjang durasi intervensi untuk melihat efek jangka panjang, maupun menggunakan pendekatan kualitatif untuk menggali persepsi dan pengalaman siswa terhadap pembelajaran berbasis STEM-PjBL.

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata terhadap peningkatan mutu pembelajaran fisika di Indonesia, serta mendukung pengembangan model pembelajaran yang inovatif, relevan dengan kebutuhan zaman, dan berorientasi pada pembentukan generasi kreatif, kritis, dan peduli terhadap permasalahan lingkungan global.

F. Definisi Operasional Variabel

Untuk memperjelas ruang lingkup dan fokus penelitian, berikut definisi operasional dari variabel-variabel utama yang digunakan:

1. Pendekatan *STEM-PjBL*

Pendekatan STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) dalam penelitian ini didefinisikan sebagai strategi pembelajaran transdisipliner yang mengintegrasikan sains, teknologi, teknik, dan matematika dalam satu kesatuan kegiatan pembelajaran untuk memecahkan masalah dunia nyata secara autentik (Roslina et al., 2022).

Pendekatan ini diterapkan melalui model *Project Based Learning* (PjBL) yang berfokus pada isu nyata perubahan iklim dan pemanasan global, di mana siswa dilibatkan secara aktif untuk mengamati fenomena, merancang solusi berbasis sains dan teknologi, serta mengomunikasikan hasilnya secara logis dan kreatif (Capraro et al., 2013).

Pelaksanaan STEM-PjBL dalam penelitian ini didukung oleh media pembelajaran berupa aplikasi simulasi virtual EduPhy-AI, yaitu aplikasi simulasi fisika berbasis *Artificial Intelligence (AI)* yang dikembangkan khusus untuk pembelajaran materi Perubahan Iklim dan Pemanasan Global. Secara teknis, EduPhy-AI dibangun di atas tiga lapisan sistem yang saling terintegrasi:

- a. **Engine Komputasi RK4:** Seluruh kalkulasi matematis simulasi dijalankan menggunakan metode numerik *Runge-Kutta Orde 4 (RK4)* yang menyelesaikan persamaan diferensial biasa (*ODE*) dengan galat pemotongan lokal $O(h^5)$, menghasilkan aproksimasi numerik yang sangat akurat dan meminimalkan risiko miskonsepsi pada pemahaman fisika siswa (Kartono, 2012).
- b. **Pemodelan Realisme Iklim:** Simulasi mengintegrasikan tiga mekanisme pemodelan iklim lanjutan, yaitu (1) *Radiative Forcing* yang memodelkan efek pemaksaan radiasi akibat peningkatan konsentrasi gas rumah kaca berdasarkan formula yang dikembangkan oleh Myhre et al. (1998), yang digunakan secara konsisten baik pada engine EduPhy-AI maupun model referensi MATLAB. Meskipun laporan IPCC AR6

(IPCC, 2021) telah memperkenalkan perhitungan yang lebih presisi, formula Myhre et al. (1998) tetap relevan digunakan dalam penelitian ini untuk menjaga konsistensi perbandingan antar model (*apple-to-apple comparison*), (2) *Feedback Loop* yang merepresentasikan mekanisme umpan balik positif dan negatif dalam sistem iklim, serta (3) *Stochastic Event* yang menghadirkan kejadian-kejadian iklim probabilistik seperti El Niño dan badai ekstrem. Ketiga mekanisme ini secara bersama menghadirkan representasi sistem iklim yang lebih realistis dibandingkan model deterministik sederhana, sekaligus memperkenalkan konsep *Tipping Point* sebagai ambang kritis sistem iklim yang bersifat *irreversible*.

- c. **Umpan Balik Adaptif Berbasis AI dan LLM:** EduPhy-AI dilengkapi sistem umpan balik (*feedback*) adaptif yang ditenagai oleh *Artificial Intelligence* (AI) dan *Large Language Model* (LLM). AI mengadaptasi skenario simulasi berdasarkan respons siswa, sementara LLM berperan sebagai asisten tutor virtual yang memberikan penjelasan ilmiah, mengajukan pertanyaan pemantik, dan memberikan umpan balik formatif secara *real-time* dalam bahasa alami yang kontekstual.

Perlakuan (*treatment*) dalam penelitian ini adalah untuk meninjau secara keseluruhan proses pembelajaran *STEM-PjBL* yang menggunakan *EduPhy-AI* sebagai media eksplorasi utama, mulai dari tahap pertanyaan mendasar (*essential question*), perencanaan proyek, eksplorasi simulasi, hingga presentasi dan refleksi hasil proyek siswa.

2. Kemampuan Berpikir Kreatif

Berpikir kreatif dalam penelitian ini didefinisikan secara operasional sebagai kemampuan siswa untuk menghasilkan ide-ide baru, orisinal, dan bermanfaat dalam menyelesaikan permasalahan fisika, khususnya yang berkaitan dengan fenomena perubahan iklim dan pemanasan global, yang diukur melalui skor pada empat indikator *Torrance Tests of Creative Thinking (TTCT)* sebagaimana digunakan oleh Khalil et al. (2023), yaitu:

- a. **Kelancaran (*Fluency*)**: kemampuan menghasilkan banyak gagasan atau solusi secara cepat dan relevan.
- b. **Keluwesanan (*Flexibility*)**: kemampuan mengubah pendekatan berpikir dan melihat masalah dari berbagai sudut pandang.
- c. **Keaslian (*Originality*)**: kemampuan menghasilkan ide-ide yang unik dan tidak biasa.
- d. **Elaborasi (*Elaboration*)**: kemampuan mengembangkan dan memperinci ide menjadi solusi yang lebih matang dan terstruktur.

Skor pada masing-masing indikator tersebut kemudian dikonversi menjadi persentase untuk menggambarkan tingkat kemampuan berpikir kreatif matematis siswa secara keseluruhan. Pengukuran kemampuan berpikir kreatif dilakukan melalui instrumen tes *pretest* dan *posttest* berbentuk uraian (*essay*) berbasis rubrik penilaian yang dikembangkan sesuai dengan keempat indikator tersebut.

3. Topik Perubahan Iklim dan Pemanasan Global

Topik ini mencakup materi fisika yang berkaitan dengan energi, suhu, kalor, efek rumah kaca, dan keseimbangan energi di atmosfer bumi sebagai dasar dalam memahami fenomena perubahan iklim dan pemanasan global. Materi ini dipilih karena relevan dengan kehidupan sehari-hari dan sesuai dengan kompetensi Fase E (kelas X) dalam kurikulum yang berlaku. Selain itu, Solihah et al. (2024) menegaskan bahwa materi Pemanasan Global sangat efektif dijadikan konteks pembelajaran STEM karena mendorong siswa untuk memecahkan masalah lingkungan secara berkelanjutan, didukung pula oleh Hafitri & Efwinda (2024) yang melaporkan bahwa STEM-PjBL pada topik ini secara signifikan meningkatkan hasil belajar dan keterampilan proses sains siswa. Relevansi topik ini semakin diperkuat oleh data iklim nasional, di mana Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika mencatat berbagai kejadian cuaca ekstrem di Indonesia sepanjang tahun 2026, termasuk tercatatnya suhu maksimum harian tertinggi sebesar 37°C di Stasiun Meteorologi Pangsuma, Kabupaten Kapuas Hulu, Kalimantan Barat, pada 24 April 2026 (BMKG, 2026), yang menegaskan bahwa topik ini bukan sekadar isu global namun juga berdampak langsung pada konteks lokal peserta didik.

4. Siswa SMA

Siswa SMA yang dimaksud dengan siswa dalam penelitian ini adalah peserta didik kelas X-1 SMA Negeri 4 Madiun, dengan rentang usia sekitar 15–17 tahun, yang mengikuti pembelajaran fisika pada semester di

mana penelitian ini dilaksanakan. Siswa berperan sebagai subjek penelitian yang menerima perlakuan berupa pembelajaran menggunakan pendekatan STEM-PjBL berbantuan aplikasi simulasi virtual EduPhy-AI selama periode intervensi berlangsung.