

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Kajian Teori

1. Modul Ajar Fisika

a. Definisi Modul Ajar

Modul ajar merupakan salah satu jenis perangkat ajar dalam Kurikulum Merdeka yang berfungsi sebagai pengganti Rencana Pelaksanaan Pembelajaran (RPP) pada kurikulum sebelumnya, dirancang secara lengkap dan sistematis sebagai panduan bagi guru dalam melaksanakan kegiatan pembelajaran untuk mencapai Capaian Pembelajaran (CP) melalui Alur Tujuan Pembelajaran (ATP) yang telah ditetapkan (Kemendikbudristek, 2021). Dibandingkan RPP yang hanya memuat tiga komponen inti (tujuan, langkah pembelajaran, dan asesmen dasar), modul ajar memiliki cakupan yang jauh lebih komprehensif karena turut memuat materi pembelajaran utuh, lembar kerja peserta didik, rubrik asesmen, serta panduan pembelajaran berdiferensiasi — sehingga modul ajar kerap disebut sebagai "RPP Plus" (Triandini et al., 2023).

b. Komponen Modul Ajar dalam Kurikulum Merdeka

Kemendikbudristek (2021) juga menetapkan tiga komponen utama dalam modul ajar, yaitu: (1) informasi umum, mencakup identitas modul, kompetensi awal peserta didik, Profil Pelajar Pancasila yang dituju, serta sarana dan prasarana; (2) komponen inti,

mencakup tujuan pembelajaran, pemahaman bermakna, pertanyaan pemantik, kegiatan pembelajaran, asesmen, serta pengayaan dan remedial; dan (3) lampiran, mencakup lembar kerja peserta didik, bahan bacaan guru dan siswa, serta glosarium (Triandini et al., 2023). Guru diberikan keleluasaan untuk menyesuaikan komponen tersebut dengan karakteristik peserta didik dan kondisi satuan pendidikan, selama modul yang disusun tetap esensial, menumbuhkan keterlibatan aktif siswa, dan relevan dengan pengalaman belajar sebelumnya (Maulida, 2022).

c. Modul Ajar Digital Berbasis AI

Prinsip-prinsip di atas menjadi dasar pengembangan modul ajar dalam penelitian ini, dengan penyesuaian pada dua aspek. Pertama, format modul disusun secara digital (PDF interaktif) alih-alih cetak, agar dapat diintegrasikan langsung dengan platform AI *Interactive Feedback* (Teachy.com) sebagai bagian dari komponen kegiatan pembelajaran. Kedua, komponen asesmen dalam modul tidak hanya mencakup asesmen formatif-sumatif konvensional sebagaimana diatur Kemendikbudristek (2021), tetapi juga instrumen pengukuran literasi digital pada empat kompetensi DLGF UNESCO sebagai luaran tambahan yang secara eksplisit dirancang untuk terintegrasi dalam kegiatan pembelajaran materi Kinematika Gerak. Dengan demikian, modul ajar yang dikembangkan tetap berpijak pada kerangka regulasi Kurikulum Merdeka, namun diperkaya dengan

mekanisme umpan balik adaptif berbasis AI dan penguatan literasi digital yang menjadi fokus penelitian.

2. Literasi Digital

a. Definisi Literasi Digital

Istilah literasi digital pertama kali dipopulerkan oleh Paul Gilster melalui bukunya *Digital Literacy*, yang mendefinisikannya sebagai kemampuan memahami dan menggunakan informasi dari berbagai format dan sumber digital, bukan sekadar keterampilan teknis mengoperasikan perangkat, melainkan penguasaan gagasan dan berpikir kritis. Gilster mengidentifikasi empat kompetensi inti: perakitan pengetahuan (*knowledge assembly*), evaluasi konten, pencarian internet, dan navigasi hiperteks (Gilster, 1997).

Bawden dalam kajiannya di *Journal of Documentation*, melanjutkan pemikiran Gilster dengan menelusuri berbagai konsep literasi yang bermunculan seiring perkembangan teknologi informasi mulai dari literasi komputer, literasi jaringan, literasi internet, hingga literasi digital itu sendiri. Baginya, literasi digital tidak bisa direduksi menjadi sekumpulan keterampilan teknis belaka, melainkan harus dipahami sebagai kompetensi yang berakar pada pengetahuan, persepsi, dan sikap seseorang terhadap lingkungan informasi digital. Artinya, seseorang yang literat secara digital bukan sekadar bisa mengoperasikan teknologi, tapi juga

mampu mengevaluasi, mengintegrasikan, dan menciptakan pengetahuan secara kritis melalui media digital (Bawden, 1997).

Perkembangan selanjutnya dibawa oleh (Eshet-alkalai, 2004), yang memperkenalkan kerangka literasi digital yang lebih holistic dan mencakup keterampilan kognitif, motorik, sosiologis, sekaligus emosional yang dibutuhkan seseorang untuk dapat berfungsi secara efektif di lingkungan digital. Model ini kemudian disempurnakan pada 2012 dengan mengajukan enam kategori literasi digital: *photo-visual thinking*, *real-time thinking*, *information thinking*, *branching thinking*, *reproduction thinking*, dan *social-emotional thinking* (Eshet, 2012).

b. Kerangka Literasi Digital UNESCO (DLGF 2018)

Penelitian ini mengacu pada *Digital Literacy Global Framework* (DLGF) yang dikembangkan UNESCO. *Digital Literacy Global Framework* (DLGF) adalah sebuah kerangka acuan internasional yang dikembangkan oleh UNESCO untuk mengukur, mengevaluasi, dan memahami tingkat literasi digital seseorang atau masyarakat di seluruh dunia. Berikut merupakan kompetensi dan indicator yang dikembangkan oleh UNESCO pada tahun 2018 melalui DLGF:

Tabel 2. 1 Kerangka Kerja DLGF UNESCO

Bidang Kompetensi	Indikator
1. Dasar-dasar perangkat keras dan perangkat lunak	0.1 Pengetahuan dasar tentang perangkat keras seperti menghidupkan/mematikan dan mengisi daya, mengunci perangkat 0.2 Pengetahuan dasar tentang perangkat lunak seperti manajemen akun pengguna dan kata sandi, login, dan cara melakukan pengaturan privasi,dll
2. Literasi informasi dan data	1.1 Menjelajahi, mencari, dan menyaring data, informasi, dan konten digital 1.2 Mengevaluasi data, informasi, dan konten digital 1.3 Mengelola data, informasi, dan konten digital
3. Komunikasi dan kolaborasi	2.1 Berinteraksi melalui teknologi digital 2.2 Berbagi melalui teknologi digital 2.3 Terlibat dalam kewarganegaraan melalui teknologi digital 2.4 Berkolaborasi melalui teknologi digital 2.5 Etika Berinternet 2.6 Mengelola identitas digital
4. Pembuatan konten digital	3.1 Mengembangkan konten digital 3.2 Mengintegrasikan dan mengolah kembali konten digital 3.3 Hak cipta dan lisensi 3.4 Pemrograman
5. Keamanan	4.1 Melindungi perangkat 4.2 Melindungi data pribadi dan privasi 4.3 Melindungi kesehatan dan kesejahteraan 4.4 Melindungi lingkungan
6. Pemecahan masalah	5.1 Memecahkan masalah teknis 5.2 Mengidentifikasi kebutuhan dan respons teknologi 5.3 Menggunakan teknologi digital secara kreatif 5.4 Mengidentifikasi kesenjangan kompetensi digital
7. Kompetensi terkait karier	6. Kompetensi terkait karier mengacu pada pengetahuan dan keterampilan yang dibutuhkan untuk mengoperasikan perangkat keras/perangkat lunak khusus untuk bidang tertentu, seperti perangkat lunak dan perangkat keras desain teknik, atau penggunaan sistem manajemen pembelajaran untuk menyampaikan kursus daring sepenuhnya atau kursus campuran.

Sumber : UNESCO (2018)

Dari tujuh domain yang ditawarkan UNESCO, penelitian ini hanya mengambil empat yang paling relevan dengan pembelajaran fisika berbasis teknologi:

1) *Fundamentals of Hardware and Software* (Dasar-dasar Perangkat Keras dan Perangkat Lunak)

Merupakan kemampuan memahami dan mengoperasikan perangkat keras maupun lunak yang digunakan dalam pembelajaran, termasuk menggunakan platform dan aplikasi digital secara tepat.

2) *Information and Data Literacy* (Literasi Informasi dan Data)

Merupakan kemampuan mengakses, mengevaluasi, dan mengelola informasi atau data digital secara kritis dan bertanggung jawab, termasuk menafsirkan grafik gerak dalam materi fisika.

3) *Communication and Collaboration* (Komunikasi dan Kolaborasi)

Merupakan kemampuan menggunakan teknologi digital untuk berkomunikasi dan berkolaborasi secara efektif dan etis dalam lingkungan belajar digital.

4) *Digital Content Creation* (Pembuatan Konten Digital)

Merupakan kemampuan membuat, mengintegrasikan, dan membagikan konten digital dalam berbagai format sebagai bentuk ekspresi pengetahuan (UNESCO, 2018).

c. Literasi Digital dalam Pembelajaran Fisika

Dalam pembelajaran fisika, peran literasi digital terbukti cukup fundamental. (Darmaji, Astalini, Kurniawan, Minarsih, et al., 2023) misalnya menemukan bahwa literasi digital berpengaruh positif dan signifikan mencapai 93,5% terhadap keterampilan proses sains siswa. Temuan serupa juga muncul di jenjang SMP, di mana (Darmaji, Astalini, Nursulistiyo, et al., 2023) menemukan hubungan signifikan antara literasi digital dan keterampilan proses sains siswa pada materi bidang sederhana, menunjukkan bahwa pola ini tidak hanya berlaku di jenjang SMA. Pada penelitian lain, (Darmaji, Astalini, Kurniawan, Nursulistiyo, et al., 2023) juga membuktikan bahwa literasi digital berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa ($\text{sig.} = 0,001$), dan temuan ini kembali dikuatkan oleh (Darmaji et al., 2026) melalui studi mixed method yang menunjukkan pengaruh literasi digital terhadap keterampilan proses sains ($R^2=0,29$) sekaligus kemampuan berpikir kritis siswa ($R^2=0,33$).

3. Pendekatan *Deep Learning* dalam Pembelajaran

a. Konsep *Deep Learning* Kemendikdasmen

Pendekatan *Deep Learning* yang dimaksud di sini merujuk pada konsep pedagogis dari (Kemendikdasmen, 2025) dan penting digarisbawahi, ini sama sekali berbeda dari istilah *deep learning* dalam ranah kecerdasan buatan. Dalam konteks pendidikan, *Deep*

Learning adalah pendekatan yang menekankan pemahaman konsep secara mendalam, bukan sekadar hafalan atau penguasaan materi di permukaan.

(Feriyanto & Anjariyah, 2024) menjelaskan bahwa pendekatan ini menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam pembelajaran yang dirancang untuk membangun pemahaman mendalam, terhubung dengan kehidupan nyata, dan bermakna bagi perkembangan diri mereka. Pada dasarnya, pendekatan ini berupaya menggeser paradigma pembelajaran dari sekadar penguasaan konten dangkal (*surface learning*) menuju pemahaman konseptual yang lebih kokoh dan aplikatif di berbagai konteks.

b. Tiga Pilar *Deep Learning*

Pendekatan *Deep Learning* bertumpu pada tiga pilar yang harus diimplementasikan secara bersamaan dan terpadu:

1) *Mindful Learning* (Pembelajaran Berkesadaran)

Siswa berada dalam kondisi sadar penuh terhadap proses belajarnya sendiri: tidak sekadar menerima informasi secara pasif, tapi aktif memperhatikan, mempertanyakan, dan merefleksikan setiap pengalaman belajar. Pilar ini berpijak pada konsep *mindfulness* Ellen Langer, yang menekankan keterbukaan terhadap perspektif baru dan kesadaran akan konteks (Jenny Hendrianty et al., 2024).

2) *Meaningful Learning* (Pembelajaran Bermakna)

Berakar pada teori belajar bermakna David Ausubel, yang menyatakan bahwa pembelajaran paling efektif terjadi ketika materi baru dikaitkan secara substantif dengan pengetahuan yang sudah dimiliki siswa. Pilar ini mendorong siswa menghubungkan konsep yang dipelajari dengan pengalaman nyata dan permasalahan yang relevan bagi kehidupan mereka (Feriyanto & Anjariyah, 2024).

3) *Joyful Learning* (Pembelajaran Menggembirakan)

Menekankan suasana belajar yang positif dan bebas dari tekanan berlebihan, sehingga mendorong motivasi intrinsik, rasa ingin tahu, dan keterlibatan emosional siswa secara positif. Landasannya sejalan dengan pemikiran John Dewey, yang menempatkan pengalaman sebagai inti dari proses pendidikan yang bermakna (Jenny Hendrianty et al., 2024).

c. Implementasi *Deep Learning* dalam Pembelajaran Fisika

Dalam praktiknya, *Deep Learning* pada pembelajaran fisika diwujudkan melalui tiga fase yang berkesinambungan: Memahami, Mengaplikasi, dan Merefleksi. Pada materi Kinematika Gerak, ketiga fase ini dirancang agar siswa tidak sekadar menghafal persamaan gerak, melainkan benar-benar memahami makna fisis dari besaran-besaran kinematika, mampu mengaplikasikannya

dalam situasi nyata, sekaligus merefleksikan proses berpikirnya sendiri melalui umpan balik adaptif berbasis AI.

4. Kecerdasan Buatan (AI) dalam Pembelajaran

a. Konsep AI dalam Pendidikan

Kecerdasan buatan (AI) kini berkembang menjadi komponen transformatif dalam dunia pendidikan. Dwivedi et al. (2023) menyatakan bahwa AI dalam konteks pendidikan mencakup berbagai teknologi yang memungkinkan sistem komputer melakukan tugas-tugas yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia mulai dari memahami bahasa alami, mengenali pola, memberikan rekomendasi, hingga mengadaptasi respons berdasarkan perilaku pengguna. Integrasi AI dalam pembelajaran inilah yang kemudian membuka peluang bagi terciptanya pengalaman belajar yang lebih personal, adaptif, dan responsif terhadap kebutuhan setiap siswa.

b. AI Adaptive Feedback dan Intelligent Tutoring System

Salah satu penerapan AI yang paling relevan dalam pembelajaran adalah *AI-based adaptive feedback* dan *Intelligent Tutoring System (ITS)*. Vrawati & Nisrina (2024) menjelaskan bahwa sistem AI adaptif mampu menyesuaikan strategi pengajaran berdasarkan performa dan preferensi belajar siswa, sehingga pembelajaran menjadi lebih efektif dan aksesibel termasuk bagi siswa di daerah yang minim akses terhadap pengajaran individual.

Temuan ini sejalan dengan systematic review Létourneau et al. (2025) terhadap studi-studi ITS di pendidikan K-12, yang menunjukkan potensi nyata ITS dalam meningkatkan perolehan belajar siswa lewat mekanisme pembelajaran yang terpersonalisasi. Secara lebih spesifik, Ba et al. (2025) dalam tinjauan literatur sistematis di *Computers and Education: Artificial Intelligence* menyimpulkan bahwa umpan balik berbasis AI yang dirancang dengan baik dapat memengaruhi proses kognitif dan performa belajar siswa secara signifikan, berkat responsnya yang tepat waktu, personal, dan adaptif terhadap kebutuhan individu.

Sementara itu, Yuensook et al. (2025) melaporkan bahwa teknologi AI yang dominan digunakan dalam sistem pembelajaran adaptif di pendidikan tinggi meliputi *machine learning*, *natural language processing*, dan sistem hibrida yang mendukung personalisasi serta umpan balik real-time. Senada dengan itu, Luo et al. (2025) dalam tinjauannya di *International Journal of Educational Technology in Higher Education* mengulas berbagai alat AI yang mampu memberikan umpan balik dan rekomendasi personal secara real-time, melacak perkembangan belajar siswa, sekaligus menawarkan bimbingan yang disesuaikan secara individual dengan implementasi yang dominan di bidang STEM, menjadikan platform seperti Teachy.com sangat relevan untuk pembelajaran fisika. Meskipun potensi AI dalam pembelajaran telah banyak dibuktikan,

Ikram et al. (2026) dalam tinjauan sistematis berbasis PRISMA yang dipublikasikan di *Frontiers in Education* menemukan bahwa integrasi AI dengan kerangka pedagogis yang terstruktur dan eksplisit masih menjadi celah mendasar dalam praktik pembelajaran berbasis AI. Tinjauan ini menganalisis tren *personalized learning* berbasis AI dan menyimpulkan bahwa sebagian besar implementasi AI dalam pendidikan masih berjalan secara terpisah dari kerangka pedagogis yang mapan, tanpa koneksi eksplisit antara prinsip-prinsip pedagogis dan desain sistem AI yang digunakan. Temuan ini memperkuat posisi penelitian ini, yang secara sengaja membangun koneksi eksplisit antara tiga pilar *Deep Learning (Mindful, Meaningful, Joyful)* sebagai kerangka pedagogis dan AI *Interactive Feedback* melalui Teachy sebagai mekanisme operasionalnya, suatu integrasi yang menurut Ikram et al. (2026) masih jarang ditemukan dalam praktik pendidikan berbasis AI secara global.

c. Platform Teachy.com sebagai AI *Interactive Feedback*

Teachy.com adalah platform berbasis AI yang dirancang untuk mendukung pembelajaran melalui mekanisme umpan balik interaktif dan adaptif. Dalam penelitian ini, Teachy.com memberikan respons otomatis secara real-time terhadap jawaban siswa yaitu ketika jawaban belum tepat, sistem memberikan petunjuk secara bertahap hingga siswa benar-benar memahami sebelum lanjut ke soal berikutnya. Pemilihan Teachy.com sebagai platform AI *Interactive*

Feedback dalam penelitian ini didasarkan pada kriteria fungsional platform AI untuk pembelajaran yang diadaptasi dari kajian evaluasi platform AI berbasis UNESCO *Ethical Impact Assessment*. Isaifan et al. (2025) dalam penelitiannya yang dipublikasikan di *Frontiers in Education* mengembangkan *Gulf-AI Education Tool Evaluation Matrix* (G-AIETM) untuk mengevaluasi tujuh platform AI pendidikan global berdasarkan 18 indikator etis dan pedagogis. Dari evaluasi tersebut, tiga kriteria fungsional inti yang harus dipenuhi platform AI agar efektif dalam pembelajaran adalah kemampuan *adaptive learning*, *personalized feedback* secara real-time, dan pelacakan progres individual siswa. Teachy.com memenuhi ketiga kriteria tersebut melalui fitur AI Tutor yang menganalisis jawaban siswa per langkah pengerjaan dan memberikan umpan balik kontekstual secara interaktif. Perlu dicatat bahwa matriks Isaifan et al. (2025) aslinya dikembangkan dan diuji dalam konteks platform pendidikan tinggi di kawasan Teluk, bukan hanya pada Teachy.com maupun konteks fisika SMA Indonesia, sehingga penerapan kriteria tersebut dalam penelitian ini bersifat adaptasi konseptual yang disesuaikan dengan kebutuhan lokal. Mekanisme ini sejalan dengan konsep *scaffolding* dalam pembelajaran digital (Chiu, 2021) sekaligus prinsip *mastery learning*, yang menekankan bahwa siswa perlu menguasai suatu kompetensi terlebih dahulu sebelum melangkah ke tahap selanjutnya (Bloom, 1968).

5. Model Pengembangan ADDIE

a. Konsep Model ADDIE

Model ADDIE merupakan salah satu model pengembangan instruksional yang paling banyak digunakan dalam penelitian pendidikan. Branch (2010), dalam bukunya *Instructional Design: The ADDIE Approach*, menjelaskan bahwa ADDIE adalah akronim dari lima tahapan sistematis yaitu *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation* yang dirancang sebagai kerangka kerja fleksibel dan iteratif, di mana hasil setiap tahapan menjadi masukan bagi tahapan berikutnya.

b. Tahapan Model ADDIE

1) Analysis (Analisis)

Tahap analisis merupakan fondasi dari seluruh proses pengembangan. Tahap ini mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, karakteristik peserta didik, tujuan yang ingin dicapai, serta kesenjangan antara kondisi aktual dan kondisi yang diharapkan menjadi landasan bagi seluruh keputusan desain selanjutnya.

2) Design (Perancangan)

Tahap perancangan mencakup penentuan strategi pembelajaran, pemilihan media dan teknologi, perancangan kerangka modul, penyusunan tujuan pembelajaran yang terukur,

hingga rancangan instrumen penilaian. Hasilnya berupa cetak biru (blueprint) produk yang akan dikembangkan.

3) Development (Pengembangan)

Tahap pengembangan adalah tahap realisasi dari rancangan yang sudah dibuat. Seluruh komponen modul ajar dikembangkan secara konkret, mulai dari konten materi, aktivitas pembelajaran, soal evaluasi, hingga integrasi platform AI, lalu divalidasi oleh ahli (expert validation) sebelum diimplementasikan.

4) Implementation (Implementasi)

Tahap implementasi adalah tahap pengujian produk secara nyata dengan melibatkan peserta didik sebagai subjek penelitian. Pada tahap ini dikumpulkan data repon pengguna melalui angket respon guru dan siswa, serta data peningkatan literasi digital dan hasil belajar kognitif melalui pretest-posttest, observasi keterlaksanaan, dan observasi kinerja siswa.

5) Evaluation (Evaluasi)

Tahap evaluasi meliputi penilaian terhadap keseluruhan proses dan produk, mencakup evaluasi formatif (dilakukan di setiap tahapan) dan evaluasi sumatif (dilakukan di akhir proses untuk mengukur kelayakan, respon pengguna, dan peningkatan literasi digital siswa secara keseluruhan).

B. Kajian Hasil Penelitian/Artikel Relevan

Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan modul ajar fisika berbasis AI *Interactive Feedback* dengan pendekatan *Deep Learning* untuk meningkatkan literasi digital siswa dipaparkan sebagai berikut:

1. Darmaji, Astalini, Kurniawan, Minarsih, dan Perdana (2023) melakukan penelitian berjudul "*The Positive Impact of Digital Literacy on Science Process Skills*" yang dipublikasikan dalam Jurnal Pendidikan dan Pengajaran Vol. 56 No. 2. Penelitian ini membuktikan secara empiris bahwa literasi digital berpengaruh positif dan signifikan sebesar 93,5% terhadap keterampilan proses sains siswa dalam pembelajaran fisika. Namun, penelitian ini menggunakan desain *mixed method* non-eksperimental (deskriptif korelasional) dengan sampel terbatas pada 50 siswa kelas X MIPA di satu sekolah, sehingga hanya mengungkap hubungan antarvariabel tanpa menghasilkan produk atau intervensi pembelajaran yang dapat langsung diterapkan guru di kelas. Relevansi penelitian ini dengan penelitian yang dikembangkan terletak pada penguatan landasan pentingnya literasi digital sebagai variabel utama, sekaligus menjadi celah bagi penelitian pengembangan yang menghasilkan produk konkret berupa modul ajar.
2. Masih oleh tim peneliti yang sama, Darmaji, Astalini, Nursulistiyo, Kurniawan, Husna, dan Perdana (2023) dalam penelitian berjudul "*The Relationship Between Digital Literacy and Students' Science Process*

Skills in Junior High Schools" yang diterbitkan dalam *Journal of Education Research and Evaluation* Vol. 7 No. 4 menemukan adanya hubungan signifikan antara kemampuan literasi digital dan keterampilan proses sains siswa pada jenjang SMP melalui uji korelasi Pearson, didukung wawancara terbatas dengan tiga siswa di satu kelas. Sifat penelitian yang murni korelasional ini berarti belum ada perlakuan atau produk pembelajaran yang diujicobakan untuk secara aktif meningkatkan literasi digital siswa; penelitian ini hanya memotret hubungan yang sudah ada. Relevansinya bagi penelitian ini adalah sebagai penguat argumen bahwa intervensi berupa modul ajar yang secara sistematis meningkatkan literasi digital perlu dikembangkan pada berbagai jenjang, termasuk SMA — sebuah langkah yang belum diambil oleh penelitian korelasional ini.

3. Lebih lanjut, Darmaji, Astalini, Kurniawan, Nursulistiyo, Perdana, dan Prameswari (2023) dalam penelitian berjudul "*The Role of Digital Literacy and Generic Skills on Student Physics Learning Outcomes*" yang diterbitkan dalam *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia* Vol. 11 No. 4 membuktikan melalui uji regresi bahwa penerapan literasi digital dalam pembelajaran fisika berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa dengan nilai signifikansi 0,001. Sama seperti dua penelitian sebelumnya dari kelompok peneliti ini, desainnya bersifat *mixed method* non-eksperimental yang mengukur hubungan antarvariabel pada kelas yang sudah berjalan, bukan menguji efektivitas suatu produk pembelajaran

baru yang dirancang khusus untuk meningkatkan literasi digital. Penelitian ini relevan karena secara langsung menghubungkan literasi digital dengan hasil belajar kognitif, namun celah metodologis inilah yang menjadi salah satu justifikasi diperlukannya penelitian pengembangan produk seperti yang dilakukan dalam penelitian ini.

4. Dalam penelitian terbarunya, Darmaji, Astalini, Yusnidar, Kurniawan, dan Oktavia (2026) melalui studi *mixed method* yang dipublikasikan dalam *Journal Evaluation in Education* (JEE) Vol. 7 No. 1 membuktikan bahwa literasi digital berpengaruh positif dan signifikan terhadap keterampilan proses sains ($R^2=0,29$) dan kemampuan berpikir kritis siswa ($R^2=0,33$) dalam pembelajaran fisika. Nilai R^2 yang tergolong rendah-sedang ini mengindikasikan bahwa literasi digital hanya menjelaskan sebagian kecil variasi pada keterampilan proses sains dan berpikir kritis siswa, sehingga masih banyak faktor lain yang belum tergarap — termasuk kemungkinan peran intervensi pembelajaran aktif seperti umpan balik adaptif berbasis AI yang belum diuji dalam penelitian ini. Penelitian ini relevan karena memperkuat argumen teoritis bahwa literasi digital memiliki dampak multidimensi dalam pembelajaran fisika, yang menjadi justifikasi utama penelitian pengembangan ini.
5. Severina Lumbantobing dan Nugroho (2026) dalam penelitian berjudul "*Improving Students' Digital Literacy and Higher-Order Thinking Skills Through the Development of Flipbook Media for Physics Learning*"

yang diterbitkan dalam *Journal of Natural Science and Integration* Vol. 9 No. 1 mengembangkan media flipbook untuk pembelajaran fisika. Hasilnya menunjukkan peningkatan yang signifikan pada literasi digital dan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa. Penelitian ini relevan karena menjadikan literasi digital sebagai variabel luaran dalam pengembangan media pembelajaran fisika. Perbedaan mendasar dengan penelitian yang dikembangkan adalah bahwa flipbook bersifat statis dan tidak mampu memberikan umpan balik adaptif dan personal terhadap respons individual siswa, sehingga penelitian ini justru memperkuat kebutuhan atas produk yang dikembangkan dalam penelitian saat ini.

6. Madani, Sirait, dan Oktavianty (2023) dalam penelitian berjudul "Pengembangan Modul Ajar Kinematika Gerak Lurus Berbasis Pembelajaran Berdiferensiasi pada Kurikulum Merdeka Belajar" yang diterbitkan dalam *Jurnal Pendidikan Fisika* Vol. 11 No. 2 telah mengembangkan modul ajar Kinematika Gerak berbasis pembelajaran berdiferensiasi pada Kurikulum Merdeka. Penelitian ini relevan karena berada pada topik materi dan jenjang yang sama dengan penelitian yang dikembangkan. Namun, modul tersebut belum mengintegrasikan teknologi AI sebagai sarana umpan balik adaptif dan belum menjadikan peningkatan literasi digital sebagai luaran, sehingga gap yang ditinggalkan penelitian ini menjadi salah satu justifikasi utama dikembangkannya modul yang diintegrasikan dengan AI *Interactive Feedback* dalam penelitian ini.

7. Feriyanto dan Anjariyah (2024) dalam artikel kajian literatur berjudul "*Deep Learning Approach Through Meaningful, Mindful, and Joyful Learning: A Library Research*" yang diterbitkan dalam *Electronic Journal of Education, Social Economics and Technology* Vol. 5 No. 2 mengkaji secara komprehensif konsep dan implementasi pendekatan *Deep Learning* Kemendikdasmen melalui tiga pilarnya menggunakan metode studi pustaka (*library research*). Karena sepenuhnya bersifat konseptual dan mengandalkan analisis dokumen tanpa pengumpulan data lapangan, penelitian ini tidak memberikan bukti empiris tentang bagaimana ketiga pilar *Deep Learning* tersebut benar-benar berdampak pada peserta didik ketika diterapkan dalam konteks pembelajaran fisika yang nyata. Penelitian ini tetap relevan karena memberikan landasan konseptual yang kokoh tentang operasionalisasi ketiga pilar *Deep Learning*, namun sifatnya yang murni literatur inilah yang menjadi salah satu alasan penelitian pengembangan berbasis uji coba lapangan seperti ini masih diperlukan.
8. Sofa, Saptanigrum, Khoiri, Kurniawan, dan Ristanto (2025) dalam penelitian berjudul "*Effectiveness of Integrating Deep Learning into Problem-Based Learning with PhET Simulations to Enhance Students' Problem-Solving Skills*" yang diterbitkan dalam *Jurnal Pendidikan Fisika* Vol. 13 No. 3 membuktikan bahwa integrasi pendekatan Deep Learning ke dalam model *Problem-Based Learning* yang didukung simulasi PhET secara efektif meningkatkan kemampuan pemecahan

masalah siswa, dengan N-Gain sebesar 0,63 (kategori Sedang). Perlu dicatat, penelitian ini menggunakan desain pra-eksperimen *one-group* pretest-posttest tanpa kelompok kontrol pada sampel yang sangat kecil (15 siswa kelas XI di satu sekolah), sehingga generalisasi temuannya terbatas dan tidak dapat memisahkan efek murni pendekatan *Deep Learning* dari faktor lain. Selain itu, fokus penelitian ini pada kemampuan pemecahan masalah, bukan pada literasi digital. Penelitian ini tetap relevan karena menunjukkan bahwa pendekatan *Deep Learning* dapat dioperasionalkan secara konkret melalui integrasi teknologi digital dalam pembelajaran fisika, sebuah pola yang juga diterapkan dalam penelitian ini melalui platform Teachy.com, namun dengan desain kuasi-eksperimen yang lebih kuat dan sasaran luaran literasi digital.

9. Létourneau, Deslandes Martineau, Charland, Karran, Boasen, dan Léger (2025) dalam systematic review berjudul "*A Systematic Review of AI-Driven Intelligent Tutoring Systems (ITS) in K-12 Education*" yang diterbitkan dalam npj *Science of Learning* Vol. 10 No. 1 meninjau 28 studi dengan total 4.597 siswa yang menggunakan desain kuasi-eksperimen. Penelitian ini menemukan bahwa dampak ITS terhadap hasil belajar bersifat positif namun cenderung lebih lemah (*mitigated*) dibandingkan sistem tutoring non-cerdas, dan penulis sendiri menyatakan diperlukan penelitian lanjutan dengan durasi intervensi lebih panjang serta ukuran sampel yang lebih besar dan beragam. Selain itu, tinjauan ini bersifat lintas jenjang dan mata pelajaran K-12 secara

umum, belum spesifik pada konteks pembelajaran fisika di Indonesia. Relevansinya bagi penelitian ini adalah sebagai landasan empiris yang mendukung penggunaan platform Teachy.com sebagai *intelligent tutoring system*, sekaligus mengingatkan perlunya desain evaluasi yang lebih kuat dan durasi memadai dalam penelitian yang dikembangkan.

10. Ba, Yang, Yan, Looi, dan Gašević (2025) dalam *systematic literature review* berjudul "*Unraveling the Mechanisms and Effectiveness of AI-Assisted Feedback in Education*" yang diterbitkan dalam *Computers and Education Open* Vol. 9 menganalisis 129 studi dan menyimpulkan bahwa umpan balik berbasis AI yang dirancang dengan baik mampu secara signifikan memengaruhi proses kognitif dan performa belajar siswa melalui respons yang tepat waktu, personal, dan adaptif. Penulis juga mencatat keterbatasan berupa minimnya transparansi mengenai cara kerja algoritma AI di balik sistem umpan balik yang dikaji, sehingga menyerukan pelaporan yang lebih baik ke depannya; tinjauan ini juga bersifat lintas jenjang pendidikan secara umum, belum spesifik ke pembelajaran fisika atau ke konteks pengembangan modul ajar. Penelitian ini relevan karena secara langsung memvalidasi mekanisme *AI Interactive Feedback* yang menjadi komponen inti modul ajar yang dikembangkan, sekaligus menjadi pengingat pentingnya transparansi mekanisme AI dan penerapan pada konteks mata pelajaran spesifik dalam penelitian ini.

11. Isaifan, Tawalbeh, dan Hasna (2025) dalam penelitian berjudul *"From Principles to Practice: A Novel Matrix for Evaluating AI-Powered Learning Platforms Based on the UNESCO Ethical Impact Assessment Tool"* yang diterbitkan dalam *Frontiers in Education* Vol. 10 mengembangkan Gulf-AI Education Tool Evaluation Matrix (G-AIETM), sebuah kerangka evaluasi terstruktur berbasis UNESCO *Ethical Impact Assessment* untuk menilai kesiapan etis dan pedagogis platform AI pendidikan. Matriks ini diterapkan pada tujuh platform AI pendidikan global — Khanmigo, CENTURY Tech, MATHia, Knewton Alta, AltSchool, Querium, dan Squirrel AI — berdasarkan 18 indikator yang mencakup kepatuhan etis, efektivitas pedagogis, kesiapan teknologi, relevansi budaya, dan keberlanjutan implementasi. Dari evaluasi tersebut, tiga kriteria fungsional inti yang harus dipenuhi platform AI agar efektif dalam pembelajaran adalah kemampuan *adaptive learning*, *personalized feedback* secara real-time, dan pelacakan progres individual siswa. Relevansi penelitian ini bagi penelitian yang dikembangkan terletak pada pemanfaatan ketiga kriteria fungsional tersebut sebagai dasar pemilihan platform Teachy.com, meski dengan catatan bahwa matriks Isaifan et al. dikembangkan dalam konteks platform pendidikan tinggi kawasan Teluk sehingga penerapannya dalam penelitian ini bersifat adaptasi konseptual.
12. Ikram, Hanefar, Saleem, dan Zulfiqar (2026) dalam tinjauan sistematis berjudul *"Artificial Intelligence in Education: A Systematic Review of*

Personalized Learning Trends and Future Directions" yang diterbitkan dalam *Frontiers in Education* Vol. 11 menganalisis tren *personalized learning* berbasis AI menggunakan protokol PRISMA. Tinjauan ini menyimpulkan bahwa meskipun AI terbukti mampu menghasilkan pengalaman belajar yang adaptif dan personal, integrasi fitur-fitur AI dengan kerangka pedagogis yang mapan dan terstruktur masih menjadi celah mendasar dalam praktik pendidikan — koneksi eksplisit antara prinsip pedagogis dan desain sistem AI masih sangat jarang ditemukan. Relevansi penelitian ini sangat langsung bagi penelitian yang dikembangkan: celah yang diidentifikasi Ikram et al. (2026) secara tepat mencerminkan gap yang menjadi justifikasi penelitian ini, yakni belum tersedianya modul fisika yang secara eksplisit memadukan kerangka pedagogis *Deep Learning* dengan mekanisme AI *Interactive Feedback* dalam satu produk pembelajaran yang terstruktur.

C. Kerangka Berpikir

Pembelajaran fisika di Indonesia menghadapi persoalan yang berlapis dan saling terkait. Rendahnya literasi digital merupakan tantangan yang diakui secara global, sebagaimana ditunjukkan ICILS 2023 bahwa rata-rata hampir separuh siswa di dunia belum mencapai level dasar literasi digital dan kondisi ini turut tercermin secara nasional melalui Indeks Literasi Digital Indonesia yang baru mencapai 3,65 dari skala 5. Kondisi ini tidak lepas dari rendahnya literasi digital siswa dalam konteks pembelajaran fisika, mengingat literasi digital memiliki pengaruh besar terhadap

keterampilan proses sains, hasil belajar kognitif, maupun kemampuan berpikir kritis siswa.

Di tingkat sekolah yang menjadi lokasi penelitian, yakni MAN 4 Madiun, ditemukan kesenjangan yang serupa: pembelajaran fisika belum mengintegrasikan AI sebagai sarana umpan balik adaptif, dan literasi digital siswa pada empat kompetensi yang menjadi belum pernah diukur secara eksplisit. Materi Kinematika Gerak juga menjadi topik yang menuntut kemampuan representasi multi-format yang tinggi, namun di lapangan masih banyak siswa SMA yang mengalami miskonsepsi pada grafik gerak, besaran vektor, maupun konsep percepatan.

Berdasarkan kondisi tersebut, dirumuskan kesenjangan penelitian: belum tersedianya modul fisika di Indonesia khususnya pada materi Kinematika Gerak yang secara sistematis mengintegrasikan mekanisme umpan balik adaptif berbasis AI (melalui Teachy.com) dengan kerangka pedagogis *Deep Learning*, sekaligus menjadikan peningkatan keempat kompetensi literasi digital sebagai luaran yang terukur secara eksplisit sebuah integrasi yang belum ditemukan pada modul maupun media pembelajaran fisika yang telah dikembangkan sebelumnya.

Dua jalur penelitian terdahulu memberikan gambaran sekaligus menyisakan keterbatasan yang saling melengkapi. Jalur pertama berupa pengembangan media pembelajaran fisika digital yang menasar peningkatan literasi digital, namun sifatnya cenderung statis dan belum mampu memberikan umpan balik personal terhadap respons siswa. Jalur

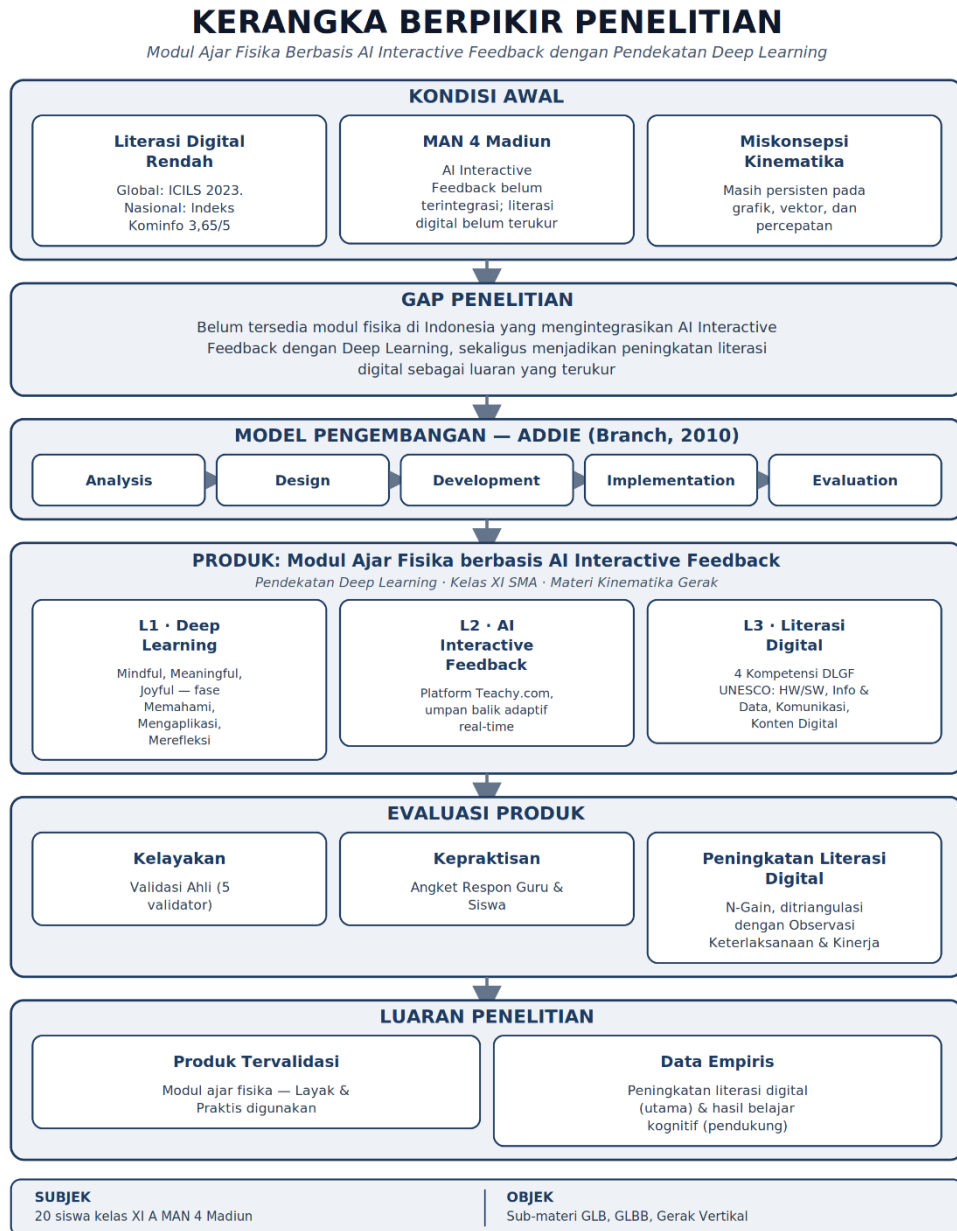
kedua berupa modul fisika berbasis AI yang berfokus pada hasil belajar kognitif, tetapi belum menjadikan literasi digital sebagai luaran yang terukur. Di sisi lain, pendekatan *Deep Learning* (baik berdiri sendiri maupun dipadukan dengan teknologi digital) terbukti efektif meningkatkan hasil belajar dan kemampuan berpikir kritis siswa fisika, sementara sistem tutor cerdas berbasis AI dengan umpan balik yang dirancang baik mampu memengaruhi proses kognitif dan performa belajar siswa secara signifikan.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE (Branch, 2010), yang menyediakan kerangka lima tahapan sistematis dan iteratif mencakup proses validasi ahli pada tahap Development serta uji coba dan revisi pada tahap Implementation. Produk yang dikembangkan adalah modul ajar fisika digital pada materi Kinematika Gerak kelas XI, yang dibangun di atas tiga lapisan integrasi. Lapisan pertama adalah pendekatan *Deep Learning* dengan tiga pilarnya *Mindful, Meaningful, dan Joyful Learning* yang dioperasionalkan dalam tiga fase pembelajaran: Memahami, Mengaplikasi, dan Merefleksi. Lapisan kedua adalah integrasi AI *Interactive Feedback* melalui Teachy.com, yang berfungsi sebagai tutor cerdas yang membimbing siswa secara adaptif hingga benar-benar memahami sebelum melanjutkan ke soal berikutnya. Lapisan ketiga adalah penguatan terstruktur keempat kompetensi literasi digital yang diintegrasikan dalam setiap aktivitas pembelajaran dengan peningkatannya diukur secara triangulatif melalui pretest-posttest, observasi keterlaksanaan pembelajaran, dan observasi kinerja siswa.

Ketiga lapisan ini dirancang agar saling berkorespondensi: *Mindful Learning* melatih kesadaran siswa dalam mengoperasikan platform digital dan menganalisis data gerak, *Meaningful Learning* mendorong interaksi yang bermakna dengan AI Tutor, dan *Joyful Learning* memfasilitasi keterlibatan emosional siswa dalam membuat konten digital sebagai ekspresi pemahaman. Kelayakan produk dinilai melalui validasi ahli, respon pengguna nya melalui angket respon guru dan siswa, dan peningkatan literasi digital siswa dinilai melalui N-Gain pretest-posttest yang ditriangulasi dengan observasi keterlaksanaan dan observasi kinerja.

Siswa kelas XI MAN 4 Madiun dipilih sebagai subjek penelitian karena dua alasan: kondisi sekolah ini representatif terhadap kesenjangan yang hendak diisi, dan materi Kinematika Gerak memang merupakan materi semester genap kelas XI sehingga relevan secara kurikulum maupun kognitif. Objek penelitian berupa modul ajar digital berbasis AI berformat PDF, mencakup sub-materi GLB, GLBB, dan Gerak Vertikal, dengan guru fisika sebagai fasilitator dan validator ahli sebagai penilai kelayakan.

Penelitian ini diharapkan menghasilkan dua luaran: sebuah produk berupa modul ajar yang tervalidasi (layak dan praktis) serta data empiris yang menunjukkan peningkatan nyata pada literasi digital dan hasil belajar kognitif siswa sebagai pendukung, yang dapat menjadi pijakan bagi pengembangan penelitian serupa pada materi fisika lainnya.



Gambar 2. 1 Kerangka Berpikir Penelitian

D. Hipotesis Penelitian

Berdasarkan uraian kerangka berpikir, hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Modul ajar fisika berbasis AI *Interactive Feedback* melalui platform Teachy.com dengan pendekatan *Deep Learning* pada materi Kinematika Gerak untuk siswa kelas XI MAN 4 Madiun layak digunakan sebagai bahan ajar berdasarkan penilaian validator ahli.
2. Modul ajar fisika berbasis AI *Interactive Feedback* melalui platform Teachy.com dengan pendekatan *Deep Learning* pada materi Kinematika Gerak untuk siswa kelas XI MAN 4 Madiun mendapat respon positif dari guru dan siswa berdasarkan angket respon.
3. Modul ajar fisika berbasis AI *Interactive Feedback* melalui platform Teachy.com dengan pendekatan *Deep Learning* dapat meningkatkan literasi digital siswa kelas XI pada materi Kinematika Gerak di MAN 4 Madiun.