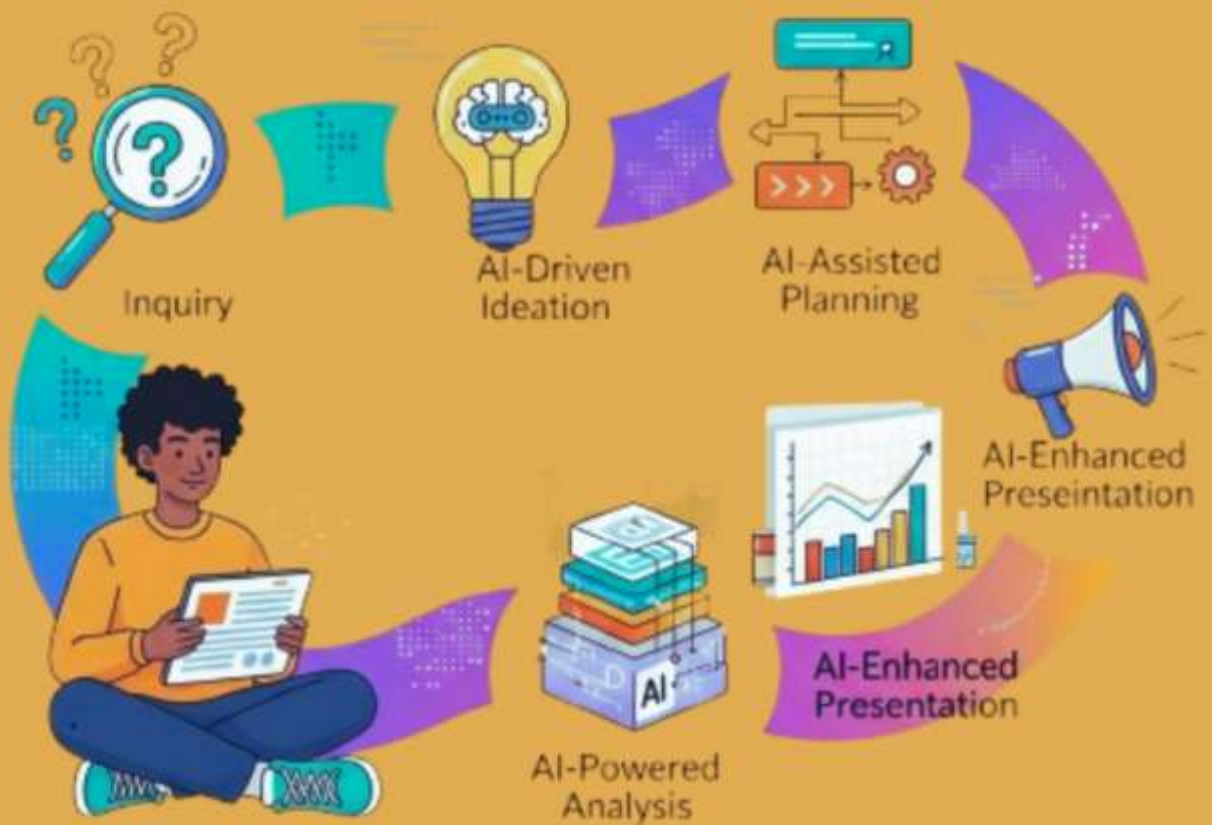




Penerbit
Yayasan Pendidikan Bima Berilmu

AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning:

Teori, Model, dan Implikasi



Asriyadin, M.Pd.Si
Adi Apriadi Adiansha, M.Pd.
Dr. Khairil Anwa, M.Pd.Si

AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning: Teori, Model, dan Implikasi

Penulis:
Asriyadin, M.Pd.Si
Adi Apriadi Adiansha, M.Pd.
Dr. Khairil Anwar, M.Pd.Si



2025

AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning: Teori, Model, dan Implikasi

Penulis:

Asriyadin, M.Pd.Si
Adi Apriadi Adiansha, M.Pd.
Dr. Khairil Anwar, M.Pd.Si

ISBN:

XXX-XXX-XX-XXXX-X

Editor:

Dr. Nanang Diana, M.Pd.

Desain Sampul dan Tata Letak:

Dr. Syarifudin, M.Pd.

Penerbit:

Yayasan Pendidikan Bima Berilmu

Redaksi:

Jalan Lintas Sumbawa Bima, desa Leu, RT. 009, RW.
004, kecamatan Bolo, kabupaten Bima, Nusa Tenggara
Barat, Kode post. 84161
Email: bimaberilmu@gmail.com

Cetakan Kedua, November 2025

i-x + 1-307 hlm, 17.6 x 25 cm

Hak Cipta Dilindungi Undang-Undang

Dilarang memperbanyak karya tulis ini dalam bentuk dan
dengan cara apapun tanpa ijin tertulis dari penerbit.



KATA PENGANTAR

Puji syukur ke hadirat Allah Swt., atas rahmat dan karunia-Nya buku berjudul *AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning: Teori, Model, dan Implikasi* dapat diselesaikan dengan baik. Kehadiran buku ini dilatarbelakangi oleh perubahan besar dalam dunia pendidikan abad ke-21, di mana integrasi teknologi, khususnya kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI), telah menjadi kebutuhan mendesak untuk menjawab kompleksitas pembelajaran. Model pembelajaran berbasis inkuiri yang diperkaya dengan pendekatan *research project-based learning* kini semakin relevan, karena mampu menumbuhkan keterampilan berpikir kritis, literasi sains, literasi digital, serta kemampuan penelitian pada peserta didik. Kehadiran AI tidak sekadar menjadi alat bantu, melainkan menjadi mitra belajar yang memperkuat eksplorasi pengetahuan, mendorong kolaborasi, dan mengakselerasi proses inkuiri. Oleh karena itu, buku ini hadir untuk memberikan pemahaman teoritis, konseptual, sekaligus praktis mengenai bagaimana AI dapat diintegrasikan ke dalam model pembelajaran inkuiri berbasis proyek riset.

Penyusunan buku ini didorong oleh meningkatnya urgensi penguasaan *21st Century Skills* yang menuntut peserta didik mampu beradaptasi dalam lingkungan global yang penuh dinamika. Berbagai hasil penelitian mutakhir menunjukkan bahwa *inquiry-based learning* dan *project-based learning*

merupakan pendekatan yang efektif untuk melatih keterampilan pemecahan masalah, pengambilan keputusan, dan kolaborasi ilmiah. Namun, tantangan terbesar terletak pada bagaimana kedua pendekatan ini dapat diintegrasikan secara sistematis dengan bantuan AI agar hasilnya lebih optimal. Buku ini menjawab kebutuhan tersebut dengan menyajikan kajian yang bersifat teoretis sekaligus aplikatif, dilengkapi dengan model yang dapat diimplementasikan dalam berbagai jenjang pendidikan, mulai dari sekolah dasar hingga pendidikan tinggi. Dengan demikian, buku ini diharapkan tidak hanya menambah khazanah literatur akademik, tetapi juga menjadi panduan praktis bagi pendidik, peneliti, dan pengambil kebijakan.

Isi buku ini disusun secara sistematis untuk memberikan gambaran menyeluruh. Bab I menyajikan latar belakang, urgensi, dan tujuan penyusunan buku. Bab II menguraikan secara rinci landasan teori inquiry-based learning dan research project-based learning, termasuk prinsip, sintaks, serta hubungannya dengan pengembangan keterampilan abad 21. Bab III membahas peran dan kontribusi AI dalam dunia pendidikan, mencakup aspek peluang, tantangan, serta etika penggunaannya. Bab IV menyajikan model pembelajaran AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning, mulai dari desain konseptual, sintaks, hingga kelebihan dan keterbatasan. Bab V menampilkan implementasi model melalui studi kasus internasional dan nasional. Bab VI mendiskusikan implikasi teoretis dan praktis, baik bagi guru, dosen, maupun pembuat

kebijakan. Bab VII menyajikan kesimpulan dan rekomendasi untuk arah penelitian serta pengembangan model di masa depan. Dengan kerangka seperti ini, pembaca akan memperoleh pemahaman komprehensif, mulai dari konsep hingga penerapan nyata.

Buku ini memanfaatkan referensi yang mutakhir, baik dari jurnal internasional bereputasi, prosiding konferensi, maupun buku akademik yang relevan. Seluruh sitasi dipilih dengan memperhatikan keterkaitan terhadap tema AI, inkuiri, project-based learning, scientific reasoning, dan critical thinking. Pendekatan ini dilakukan agar setiap bab memiliki fondasi akademik yang kuat sekaligus relevan dengan perkembangan terkini. Dengan demikian, buku ini diharapkan mampu menjawab tuntutan dunia pendidikan yang semakin kompleks, terutama dalam mempersiapkan generasi muda menghadapi era digital yang sarat dengan tantangan multidimensional. Lebih jauh, integrasi AI dalam model pembelajaran diharapkan mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih autentik, adaptif, dan transformatif. Oleh karena itu, buku ini tidak hanya menekankan aspek metodologis, tetapi juga menyoroti nilai-nilai strategis dalam membangun pendidikan yang humanis, berbasis riset, dan berorientasi masa depan.

Ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya penulis sampaikan kepada berbagai pihak yang telah berkontribusi dalam penyelesaian buku ini. Terima kasih khusus ditujukan kepada rekan-rekan dosen, peneliti, dan mahasiswa yang telah

memberikan masukan, kritik, serta inspirasi dalam pengembangan gagasan. Tidak lupa, penghargaan juga diberikan kepada para penulis, peneliti, dan akademisi yang karya-karyanya menjadi rujukan utama dalam penyusunan buku ini. Setiap kontribusi yang diberikan menjadi bagian penting dalam memperkaya isi dan kualitas buku, sehingga dapat memberikan manfaat optimal bagi pembaca. Semoga dukungan, doa, dan kerja sama yang telah terjalin senantiasa menjadi amal kebaikan dan motivasi untuk terus berkarya.

Akhirnya, penulis berharap buku ini dapat memberikan manfaat nyata bagi dunia pendidikan, baik pada tataran teoritis maupun praktis. Bagi para pendidik, buku ini diharapkan menjadi panduan untuk merancang pembelajaran yang inovatif dan berorientasi pada pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi. Bagi peneliti, buku ini diharapkan membuka ruang kajian baru tentang integrasi AI dan pembelajaran berbasis inkuiri. Bagi pengambil kebijakan, buku ini dapat menjadi inspirasi dalam merumuskan kebijakan yang mendukung transformasi pendidikan di era digital. Penulis menyadari sepenuhnya bahwa karya ini masih memiliki keterbatasan, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk penyempurnaan di masa mendatang. Semoga buku ini menjadi bagian kecil dari upaya besar membangun pendidikan yang lebih baik, inklusif, dan adaptif terhadap perkembangan zaman.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
KATA PENGANTAR.....	iv
DAFTAR ISI	viii
BAB I. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Penulisan Buku.....	1
1.2 Urgensi Integrasi Inquiry-Based Project Learning dengan AI	15
1.3 Permasalahan Pendidikan Abad 21 dan Tuntutan Critical Thinking.....	26
1.4 Kontribusi Buku Referensi dalam Pengembangan Ilmu Pendidikan	35
1.5 Tujuan Penyusunan Buku	43
1.6 Manfaat Teoretis dan Praktis Buku	50
1.7 Sistematika Penulisan Buku.....	56
BAB II. LANDASAN TEORI INQUIRY-BASED LEARNING DAN PROJECT LEARNING	61
2.1 Konsep Dasar Inquiry-Based Learning.....	61
2.1.1 Definisi dan Karakteristik.....	74
2.1.2 Prinsip-prinsip Utama	84
2.1.3 Sintaks Levels of Inquiry	91
2.2 Konsep Dasar Research Project-Based Learning.....	101
2.2.1 Definisi dan Sejarah Perkembangan.....	101
2.2.2 Perbedaan Project-Based Learning dan Research Project-Based Learning	109
2.2.3 Peran dalam Pendidikan Tinggi	116
2.3 Hubungan Inquiry dan Project Learning dalam STEM/STEAM Education.....	125
2.4 Teori Kognitif dan Neurosains dalam Inquiry & Project Learning.....	133
2.5 Relevansi dengan Pengembangan 21st Century Skills	141

BAB III. ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM PENDIDIKAN.....	150
3.1 Definisi dan Perkembangan Artificial Intelligence (AI) ..	150
3.2 Peran AI dalam Pembelajaran Modern	156
3.3 Generative AI: Potensi, Peluang, dan Tantangan	162
3.4 AI dalam Pembelajaran Inkuiri dan Proyek Riset.....	168
3.5 Etika, Keamanan, dan Keadilan dalam Penggunaan AI di Pendidikan	173
3.6 Studi Empiris Penggunaan AI dalam Pembelajaran (Global dan Nasional).....	177
BAB IV. MODEL AI-ENHANCED INQUIRY-BASED RESEARCH PROJECT LEARNING	182
4.1 Desain Konseptual Model.....	182
4.1.1 Landasan Filosofis.....	187
4.1.2 Landasan Psikologis dan Pedagogis.....	193
4.1.3 Landasan Teknologis.....	197
4.2 Sintaks Model (Tahap demi Tahap).....	202
4.2.1 Orientasi pada Masalah	202
4.2.2 Identifikasi dan Formulasi Masalah	207
4.2.3 Perancangan Penyelidikan Berbasis AI.....	211
4.2.4 Pelaksanaan Proyek Riset dengan AI	215
4.2.5 Analisis, Refleksi, dan Presentasi Hasil.....	220
4.3 peran Guru, Mahasiswa, dan AI dalam Model.....	224
4.4 Sistem Pendukung Model (Infrastruktur, LMS, dan AI Tools).....	228
4.5 Kelebihan, Keterbatasan, dan Prospek Model.....	233
BAB V. IMPLEMENTASI MODEL DALAM KONTEKS PENDIDIKAN	239
5.1 Implementasi dalam Pendidikan Dasar dan Menengah	239
5.2 Implementasi dalam Pendidikan Tinggi	243
5.3 Studi Kasus Internasional	248

5.3.1	Integrasi AI dalam PBL di STEM (Bangladesh, Korea, Finlandia).....	248
5.3.2	Penerapan Inquiry + AI di Universitas Global .	252
5.4	Studi Kasus Nasional (Indonesia).....	256
5.4.1	Penggunaan GeoGebra dan AI dalam Proyek Matematika.....	256
5.4.2	Pengembangan Modul Inquiry + AI untuk Fisika dan Sains.....	260
5.4.3	Integrasi Neurosains dalam Model Inquiry di Perguruan Tinggi.....	264
5.5	Evaluasi Implementasi: Strategi, Indikator, dan Hasil....	268
BAB VI. IMPLIKASI TEORITIS DAN PRAKTIS		273
6.1	Implikasi terhadap Pengembangan Critical Thinking ...	273
6.2	Implikasi terhadap Scientific Reasoning dan Problem-Solving.....	277
6.3	Implikasi terhadap Literasi Digital dan Literasi Sains.....	282
6.4	Implikasi bagi Guru, Dosen, dan Peneliti Pendidikan ...	286
6.5	Implikasi bagi Kebijakan Pendidikan Nasional dan Global	291
6.6	Peluang Riset Masa Depan dalam AI dan Inquiry-Based Learning.....	295
BAB VII. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI		300
7.1	Kesimpulan Utama Buku	300
7.2	Rekomendasi untuk Praktik Pembelajaran	300
7.3	Rekomendasi untuk Penelitian Lanjutan	301
7.4	Penutup.....	301
Daftar Pustaka		303



BAB I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Penulisan Buku

Transformasi pendidikan pada abad ke-21 berlangsung sangat cepat seiring dengan perkembangan teknologi digital, khususnya kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) yang menjadi katalis dalam merancang ulang strategi pembelajaran. AI tidak lagi hanya dipandang sebagai perangkat bantu teknis, melainkan hadir sebagai ekosistem pembelajaran yang mampu memfasilitasi interaksi kognitif, sosial, dan emosional peserta didik secara lebih personal. Dalam konteks ini, model pembelajaran berbasis inkuiri yang dipadukan dengan proyek riset menawarkan landasan epistemologis untuk mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi, literasi digital, dan literasi sains yang dibutuhkan di era global. Penguatan tersebut sesuai dengan arah kebijakan pendidikan yang menekankan pada kompetensi abad 21 yang meliputi critical thinking, kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi. Integrasi AI dalam inkuiri dan proyek riset tidak hanya memperluas peluang eksplorasi pengetahuan, melainkan juga memperkaya praktik riset yang lebih akurat, transparan, dan adaptif terhadap kebutuhan pembelajar (Chu et al., 2017; Tlili et al., 2024; Luckin, 2025; Larkin & Lowrie, 2023).

Konteks inkuiri dalam pendidikan menekankan pada proses penyusunan pertanyaan, investigasi, pengumpulan data, serta penyusunan argumen yang berbasis bukti. Pendekatan ini

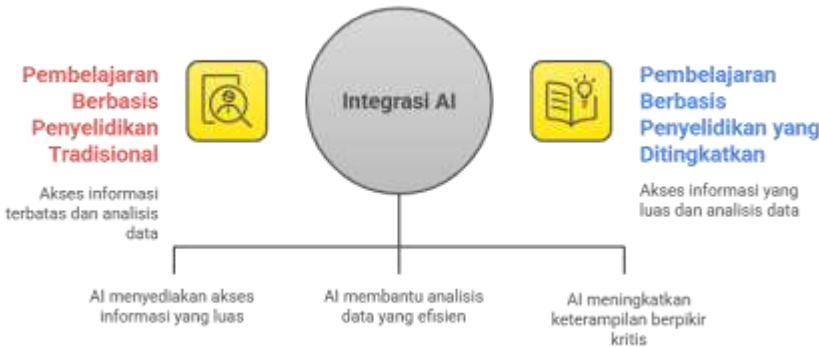
jika dikombinasikan dengan research project-based learning menghadirkan pola belajar yang longitudinal, di mana peserta didik tidak hanya berlatih menyelesaikan persoalan tetapi juga belajar mengelola siklus penelitian ilmiah yang mencakup perencanaan, implementasi, hingga publikasi hasil. Sejumlah penelitian membuktikan bahwa strategi inkuiri mampu memperkuat scientific reasoning siswa melalui kontrol variabel, analisis kausal, serta evaluasi bukti secara lebih sistematis (Bezci & Sungur, 2021; Orosz et al., 2022). Sementara itu, praktik project-based inquiry pada jenjang prasekolah dan sekolah dasar telah terbukti menumbuhkan kesiapan STEM, keterampilan kolaboratif, dan kebiasaan berpikir ilmiah sejak usia dini (Chen & Tippet, 2022). Hal ini menegaskan perlunya desain terpadu yang menghubungkan levels of inquiry dengan pengembangan proyek riset pada semua level pendidikan sehingga kontinuitas kompetensi peserta didik tetap terjaga.

Peningkatan keterampilan berpikir kritis dan penalaran ilmiah menjadi salah satu target utama dari desain pembelajaran abad 21. Penelitian terbaru mengindikasikan bahwa penerapan inkuiri yang terstruktur mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis melalui aktivitas analisis bukti, pengambilan keputusan, serta penyusunan justifikasi ilmiah (Fitriadi et al., 2024; Rapi et al., 2025). Di sisi lain, kalibrasi penalaran ilmiah penting dilakukan agar proses penyelidikan tidak terjebak pada bias kognitif yang dapat memengaruhi kualitas evaluasi bukti (Drummond Otten & Fischhoff, 2023). Kebutuhan tersebut

semakin mendesak dalam konteks global, di mana tantangan sosial, politik, dan lingkungan menuntut generasi muda memiliki kapasitas analitis yang kuat serta mampu membuat keputusan berbasis data. Buku ini hadir untuk menawarkan solusi dengan mengintegrasikan AI dalam model inquiry-based research project learning, sehingga proses penalaran ilmiah dapat diperkuat melalui bantuan teknologi yang adaptif dan berbasis bukti.

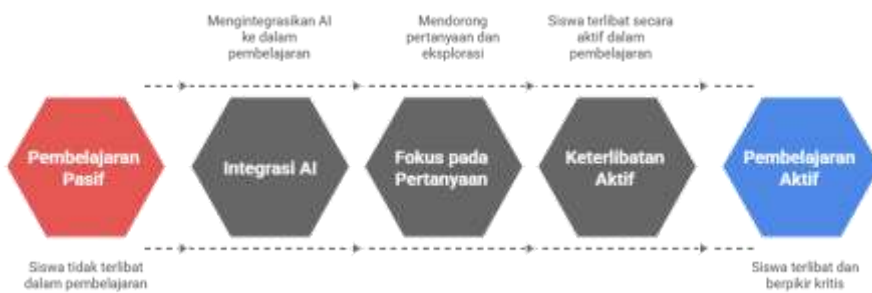
Kemajuan teknologi AI, khususnya generative AI, chatbot cerdas, dan learning analytics, memberikan peluang besar dalam mendukung setiap tahap pembelajaran berbasis inkuiri. Studi yang melibatkan inquirybot menunjukkan bahwa AI dapat memfasilitasi dialog investigatif yang lebih terarah, membantu peserta didik menyusun pertanyaan riset, hingga merancang eksperimen (Chang et al., 2023). Lebih jauh, penerapan AI dalam proyek riset daring memperlihatkan kemampuannya dalam memberikan personalisasi lintasan belajar serta umpan balik adaptif yang relevan dengan kebutuhan individu (Dai et al., 2025). AI juga terbukti efektif dalam memperkuat asesmen otentik di pendidikan tinggi, terutama ketika digunakan untuk mendukung evaluasi berbasis proyek dengan skala besar (Divjak et al., 2025). Oleh karena itu, buku ini tidak hanya menyajikan aspek konseptual, tetapi juga menekankan pentingnya implementasi praktis AI untuk mendukung inkuiri yang lebih efektif, efisien, dan etis.

Integrasi AI dalam pendidikan tidak dapat dilepaskan dari isu integritas, kerahasiaan, dan keadilan. Penelitian yang memanfaatkan laboratorium inkuiri untuk mengajarkan etika dan keamanan siber menunjukkan bahwa peserta didik lebih memahami implikasi penggunaan teknologi ketika pembelajaran dirancang untuk menyoroti risiko serta strategi mitigasinya (Alexander et al., 2023). Kurikulum etika AI dalam pendidikan literasi STEM menegaskan perlunya mengajarkan tanggung jawab penggunaan teknologi sejak dini (Walsh et al., 2023). Dengan demikian, AI bukan hanya instrumen teknis, melainkan entitas pedagogis yang perlu dikawal dengan prinsip keadilan dan keberlanjutan agar tidak menciptakan ketimpangan dalam akses pendidikan. Pandangan bahwa kecerdasan manusia harus dipelihara bersamaan dengan pemanfaatan AI menunjukkan perlunya sinergi yang saling memperkuat, bukan menggantikan (Luckin, 2025).



(Gambar 1.1: Representasi integrasi AI dalam siklus Inquiry-Based Research Project Learning)

Integrasi konteks nasional dalam pengembangan model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning penting untuk diperhatikan. Berbagai penelitian di Indonesia menunjukkan bahwa penerapan aplikasi berbasis digital dan strategi inkuiri dapat meningkatkan kualitas proses pembelajaran sains dan matematika. Pemanfaatan aplikasi GeoGebra, misalnya, terbukti membantu siswa dalam memecahkan masalah matematis melalui visualisasi dan representasi simbolik yang lebih akurat (Utami, Adiansha, & Yusuf, 2023). Sementara itu, pendekatan inkuiri berbasis neurosains terbukti mampu membentuk sikap ilmiah mahasiswa melalui stimulasi atensi, regulasi diri, dan elaborasi kognitif yang lebih mendalam (Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, & Liliawati, 2021). Strategi argumentasi ilmiah daring yang diterapkan bagi calon guru sains juga memperlihatkan peningkatan signifikan dalam keterampilan penalaran ilmiah, terutama pada aspek penyusunan bukti dan justifikasi teoretis (Parmin, Khusniati, El Islami, Deta, & Saregar, 2022). Fakta ini memperkuat urgensi pengembangan buku referensi yang menyajikan kerangka komprehensif integrasi inkuiri, proyek riset, dan AI agar praktik pembelajaran di Indonesia semakin relevan dengan tuntutan pendidikan global.



(Gambar 1.2: Penerapan Pembelajaran Berbasis AI)

Penerapan levels of inquiry dalam pembelajaran terbukti efektif dalam meningkatkan penalaran ilmiah siswa pada berbagai jenjang pendidikan. Model ini menekankan progresi dari inkuiri konfirmasi menuju inkuiri terbuka, yang memungkinkan siswa mengembangkan keterampilan kontrol variabel, identifikasi pola, dan konstruksi penjelasan kausal secara bertahap (Yanto, Subali, & Suyanto, 2019). Program pelatihan berpikir kritis untuk mahasiswa calon guru menunjukkan bahwa keterampilan analisis argumen dan evaluasi bukti dapat ditingkatkan melalui tugas inkuiri yang menuntut justifikasi ilmiah berbasis data (Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, & Pérez Rovira, 2022). Selain itu, adaptasi instrumen penalaran ilmiah untuk konteks lokal menegaskan perlunya instrumen yang sesuai budaya, bahasa, serta jenjang perkembangan peserta didik (Orhan & Demirhan, 2025). Dalam konteks siswa berkemampuan tinggi, penerapan modul diferensiasi berbasis inkuiri terbukti meningkatkan keterampilan penalaran ilmiah dalam lingkungan belajar bauran (Özdeniz,

Aktamış, & Bildiren, 2023). Semua temuan ini mendukung posisi buku ini sebagai rujukan yang menyajikan kerangka konseptual sekaligus praktis bagi penguatan scientific reasoning.



(Gambar 1.3: Pengembangan Keterampilan Scientific Reasoning)

Evaluasi implementasi proyek riset berbasis inkuiri memerlukan indikator, instrumen, dan metodologi yang andal. Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan statistik dalam tata kelola pendidikan berbasis informatisasi efektif untuk menilai kualitas project-based learning, termasuk aspek partisipasi, kualitas produk, dan transfer keterampilan (Wang, 2024). Telaah sistematis yang berfokus pada keberlanjutan juga menekankan pentingnya desain struktural yang jelas, mencakup tujuan, peran, alur kerja, serta mekanisme umpan balik (Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025). Analisis proses penalaran ilmiah dalam pembelajaran berbasis permainan memperlihatkan bahwa strategi investigatif siswa berkembang secara kompleks,

sehingga pelacakan data proses (process tracing) penting untuk memahami dinamika pembelajaran (Dever, Wiedbusch, & Azevedo, 2025). Penelitian di pendidikan tinggi komunitas juga menegaskan bahwa proyek riset mandiri yang terintegrasi dalam pembelajaran daring dapat memperkuat scientific reasoning mahasiswa (Isenhour, 2025). Kerangka yang dibahas dalam buku ini akan mengintegrasikan temuan-temuan tersebut ke dalam model yang dapat diimplementasikan secara konsisten.



(Gambar 1.4: Meningkatkan Pembelajaran Berbasis Proyek dengan AI)

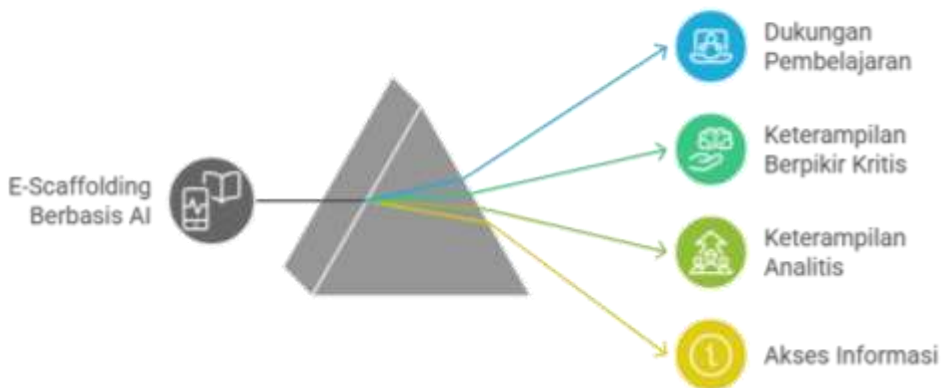
Arsitektur sistem pembelajaran berbasis proyek riset yang terintegrasi AI membutuhkan alur kerja yang sistematis. Penelitian menunjukkan bahwa sistem berbasis bukti mampu meningkatkan efektivitas workflow pembelajaran melalui analitik data dan indikator keberhasilan yang eksplisit (Ma & Wu, 2025). Integrasi AI generatif dalam platform pembelajaran daring memungkinkan analisis perilaku belajar mahasiswa secara real-time, sehingga umpan balik dapat dipersonalisasi sesuai dengan kebutuhan (Dai et al., 2025). Dalam konteks pembelajaran matematika, penerapan pendekatan STEAM berbasis proyek terbukti tidak hanya meningkatkan literasi matematis, tetapi juga membentuk karakter peserta didik (Supianti, Yaniawati, Bonyah, Hasbiah, & Rozalini, 2025). Sementara itu, kajian tentang STEAM pada pendidikan anak usia dini menegaskan pentingnya desain aktivitas investigatif yang sesuai tahap perkembangan (Su, Yim, Wegerif, & Chu, 2025). Semua temuan ini memperlihatkan relevansi integrasi levels of inquiry, manajemen proyek riset, dan AI-enabled analytics sebagai satu kesatuan sistem pembelajaran.



(Gambar 1.5: Arsitektur Pembelajaran Berbasis AI)

Dimensi kognitif dan afektif dalam inkuiri memerlukan dukungan scaffolding yang tepat. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi AI dalam klarifikasi konsep dan penanganan miskonsepsi pada pembelajaran STEM mampu meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus penerimaan peserta didik terhadap teknologi (El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, & Al Ibrahim, 2025). Dalam konteks e-scaffolding, AI juga terbukti membantu siswa mengembangkan penalaran ilmiah dengan memberikan panduan langkah demi langkah pada proses visualisasi dan interpretasi data (Koes Handayanto, Fawaiz, & Taufiq, 2024). Penerapan taksonomi ancaman validitas dalam eksperimen pembelajaran berbasis proyek riset memberikan kerangka yang

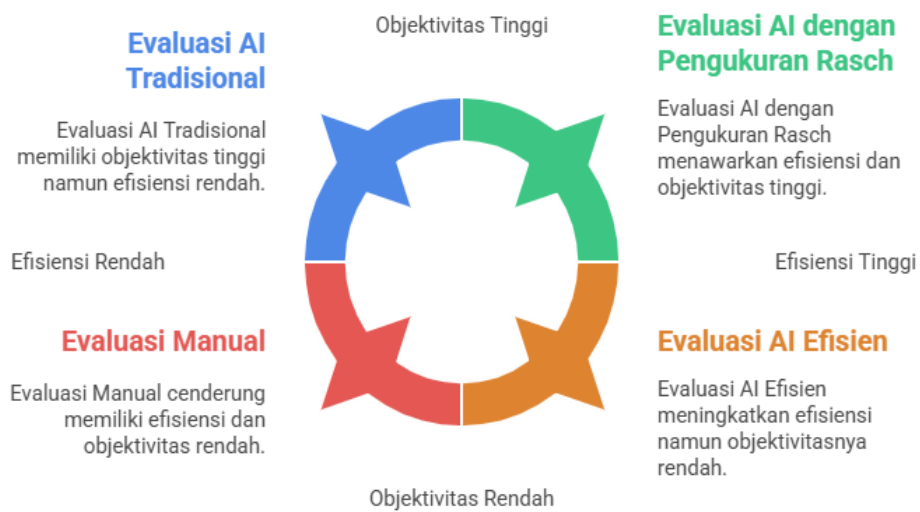
sistematis untuk mengurangi bias penelitian dan meningkatkan kredibilitas hasil (Petursdottir & Carr, 2018). Kalibrasi penalaran ilmiah melalui umpan balik metakognitif juga penting untuk menjaga kualitas pengambilan keputusan peserta didik selama penyelidikan (Drummond Otten & Fischhoff, 2023).



(Gambar 1.6: E-scaffolding berbasis AI dalam inkuiri sains)

Evaluasi akuntabilitas implementasi model inkuiri berbasis AI memerlukan instrumen yang valid dan reliabel. Adaptasi skala efikasi diri untuk pengajaran scientific reasoning menggunakan Rasch measurement telah menunjukkan hasil yang baik dalam mengukur kesiapan pedagogis guru (Welter, Dawborn-Gundlach, Großmann, & Krell, 2024). Penelitian lintas konten menegaskan bahwa variasi konteks inkuiri memengaruhi kompetensi scientific reasoning, sehingga pemilihan pengalaman belajar perlu menyeimbangkan kedalaman konsep dan keragaman konteks (Reith & Nehring, 2024). Adaptasi instrumen penalaran ilmiah di sekolah dasar dan menengah juga

memperlihatkan perlunya instrumen yang sesuai perkembangan peserta didik (Orhan & Demirhan, 2025). Selain itu, pelacakan data proses penalaran selama investigasi menegaskan pentingnya metrik proses untuk melengkapi metrik hasil, sehingga evaluasi menjadi lebih holistik (Dever et al., 2025). Integrasi praktik ini dalam buku ini diharapkan memberikan kerangka asesmen yang lebih komprehensif.



(Gambar 1.7: Evaluasi Scientific Reasoning berbasis AI dan Rasch measurement)

Aspek keadilan, aksesibilitas, dan inklusivitas tidak dapat diabaikan dalam integrasi AI dengan inkuiri. Penelitian yang menekankan pada literasi risiko keamanan siber memperlihatkan bahwa kesadaran etika dapat ditumbuhkan seiring dengan penalaran ilmiah (Alexander et al., 2023). Studi di Bangladesh menegaskan bahwa integrasi STEM dalam praktik pendidikan

memerlukan adaptasi terhadap konteks sosial, budaya, dan infrastruktur (Arefin, Chowdhury, & Nishat, 2025). Program pengalaman sains interdisipliner untuk mahasiswa tahun pertama juga terbukti meningkatkan literasi ilmiah sekaligus rasa kebersamaan dalam komunitas sains (Rissanen, Hoang, & Spila, 2023). Pada level literasi publik, paradoks berpikir analitis memperlihatkan bahwa kapasitas kognitif tinggi tidak selalu berbanding lurus dengan rendahnya kepercayaan pada teori konspirasi, sehingga pendekatan inkuiri tetap harus disertai strategi eksplisit untuk melatih skeptisisme ilmiah (Georgiou, Delfabbro, & Balzan, 2021).



(Gambar 1.8: Dimensi keadilan dan inklusi dalam pembelajaran berbasis AI)

Sintesis dari bukti empiris, kebijakan, dan tantangan implementasi menegaskan perlunya kerangka baru yang disebut AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning. Buku ini menawarkan model konseptual yang memadukan prinsip levels of inquiry, manajemen proyek riset, dan dukungan AI sepanjang siklus investigasi. Tujuannya adalah menyediakan landasan teoritis yang koheren, model desain yang dapat direplikasi, serta pedoman implementasi dan asesmen untuk memastikan peningkatan critical thinking, scientific reasoning, dan literasi digital secara terukur. Sintesis ini diharapkan mampu mengisi kesenjangan antara teori dan praktik pembelajaran, sekaligus memperkuat arah kebijakan pendidikan yang berbasis riset dan teknologi. Dengan landasan ini, buku ini diharapkan menjadi rujukan utama bagi akademisi, pendidik, peneliti, dan pengambil kebijakan dalam merancang pembelajaran yang inovatif, adaptif, dan inklusif (Arifin, Sukarmin, Saputro, & Kamari, 2025; Tlili et al., 2024; Luckin, 2025; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025; Dai et al., 2025).



(Gambar 1.9: Piramida Pembelajaran Berbasis Penyelidikan yang ditingkatkan AI)

1.2 Urgensi Integrasi Inquiry-Based Project Learning dengan AI

Kebutuhan untuk mengintegrasikan inquiry-based project learning dengan kecerdasan buatan (AI) semakin mendesak seiring dengan kompleksitas tantangan pendidikan abad ke-21. Peserta didik dituntut memiliki kapasitas berpikir kritis, penalaran ilmiah, serta kemampuan kolaborasi dalam menghadapi masalah global yang bersifat multidimensional. Model pembelajaran berbasis inkuiri yang dikombinasikan dengan proyek riset telah terbukti efektif dalam mengembangkan keterampilan tersebut, namun penerapannya sering menghadapi kendala keterbatasan waktu, sumber daya,

serta konsistensi evaluasi. Kehadiran AI memberikan dukungan sistematis untuk memperkuat proses ini, karena AI mampu memfasilitasi perancangan eksperimen, analisis data, hingga penyusunan laporan ilmiah berbasis bukti. Penelitian terbaru menegaskan bahwa AI dapat berfungsi sebagai mitra intelektual dalam kegiatan inkuiri, bukan hanya sebagai perangkat bantu teknis, sehingga memungkinkan lahirnya pembelajaran yang lebih adaptif dan transformatif (Chang, Park, & Park, 2023; Luckin, 2025).

Urgensi integrasi ini juga ditopang oleh bukti empiris bahwa pendekatan berbasis inkuiri dan proyek riset secara konsisten meningkatkan scientific reasoning. Kajian menunjukkan bahwa penerapan levels of inquiry mampu mengembangkan kontrol variabel, deduksi, dan penalaran kausal siswa melalui praktik investigasi yang berjenjang dari inkuiri terarah hingga terbuka (Yanto, Subali, & Suyanto, 2019). Lebih jauh, pembelajaran berbasis proyek riset memungkinkan peserta didik menginternalisasi proses penelitian ilmiah, mulai dari identifikasi masalah hingga komunikasi hasil. Namun, tanpa dukungan teknologi, konsistensi implementasi seringkali bergantung pada kesiapan guru dan ketersediaan sarana. AI menawarkan solusi dengan menghadirkan learning analytics yang mampu memantau perkembangan peserta didik secara real time, memberikan umpan balik adaptif, serta mengurangi beban administratif pendidik. Dengan demikian, integrasi AI memastikan praktik inkuiri dan proyek riset berlangsung secara

lebih efisien dan berbasis data (Dai et al., 2025; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025).

Urgensi lainnya terlihat dari tantangan global dalam membangun literasi sains dan digital. Studi internasional menunjukkan bahwa masih terdapat kesenjangan signifikan dalam penguasaan literasi ilmiah, terutama pada peserta didik di negara berkembang. Integrasi AI dalam inkuiri dan proyek riset memungkinkan peningkatan literasi tersebut melalui pembelajaran yang lebih kontekstual, interaktif, dan berbasis bukti. Misalnya, penelitian tentang penerapan modul sains berbasis inkuiri dengan dukungan teknologi digital memperlihatkan peningkatan pemahaman konseptual siswa, sekaligus memperbaiki miskonsepsi yang sering muncul dalam sains (El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, & Al Ibrahmi, 2025). Selain itu, literatur juga menekankan pentingnya memperkuat literasi digital agar peserta didik mampu menilai validitas informasi yang mereka temukan melalui platform digital. AI dapat membantu memfilter data, mengidentifikasi pola, serta memberikan simulasi berbasis skenario yang memperkaya proses inkuiri. Dengan cara ini, pendidikan bukan hanya menanamkan pengetahuan, tetapi juga mengembangkan kompetensi literasi digital dan sains yang selaras dengan tuntutan abad ke-21 (Fitriadi et al., 2024; Rissanen, Hoang, & Spila, 2023).

Aspek etika menjadi dimensi penting lain dalam urgensi integrasi ini. AI membawa peluang sekaligus risiko, terutama

terkait privasi data, bias algoritmik, serta integritas akademik. Jika digunakan tanpa arahan pedagogis yang tepat, AI berpotensi melemahkan proses berpikir kritis peserta didik dengan memberikan jawaban instan tanpa mendorong investigasi. Oleh karena itu, integrasi AI dalam pembelajaran inkuiri harus dilengkapi dengan scaffolding pedagogis yang mengedepankan kesadaran etika dan tanggung jawab. Studi laboratorium inkuiri yang dirancang untuk menanamkan kesadaran akan keamanan siber dan etika AI menunjukkan bahwa peserta didik lebih memahami implikasi sosial dan etis penggunaan teknologi dalam penelitian (Alexander, Ma, Dou, Cai, & Huang, 2023). Dengan demikian, urgensi integrasi ini tidak hanya pada aspek kognitif, tetapi juga dalam membangun karakter etis dan tanggung jawab ilmiah generasi muda.



(Gambar 1.10: Integrasi AI dalam Pembelajaran Berbasis Proyek)

Integrasi inquiry-based project learning dengan AI mendesak dilakukan karena potensi keduanya dalam

memperkuat proses berpikir ilmiah peserta didik. Penelitian yang meninjau efektivitas berbagai model pembelajaran menegaskan bahwa pendekatan inkuiri dan proyek riset dapat melatih keterampilan berpikir tingkat tinggi, khususnya kemampuan menganalisis dan mengevaluasi informasi secara kritis (Arifin, Sukarmin, Saputro, & Kamari, 2025). Dalam konteks pendidikan sains, aktivitas inkuiri berbasis eksperimen memperlihatkan peningkatan signifikan dalam keterampilan penalaran ilmiah mahasiswa calon guru (Parmin, Khusniati, El Islami, Deta, & Saregar, 2022). AI dapat memperkuat praktik ini melalui penyediaan data simulasi, analisis visual otomatis, serta rekomendasi adaptif yang menuntun peserta didik agar tidak hanya menerima informasi, tetapi mengolahnya secara mendalam. Integrasi semacam ini memastikan bahwa proses belajar tidak berhenti pada reproduksi pengetahuan, melainkan berlanjut pada penciptaan solusi berbasis riset yang relevan dengan permasalahan nyata.

Kebutuhan integrasi juga tampak dari tren global yang menekankan pendidikan interdisipliner. Kajian terbaru mengenai implementasi STEM dan STEAM dalam pendidikan menunjukkan bahwa pendekatan berbasis proyek dan inkuiri mampu menghubungkan berbagai disiplin ilmu untuk menghasilkan pemahaman yang lebih utuh (Sangpom & Sangpom, 2025; Su, Yim, Wegerif, & Chu, 2025). Namun, pelaksanaannya sering terkendala keterbatasan sumber daya dan metode evaluasi yang konsisten. AI hadir sebagai

penghubung antar-disiplin dengan menyediakan simulasi lintas bidang, analitik pembelajaran berbasis data besar, serta alat evaluasi otomatis yang tetap memperhatikan keakuratan. Dengan demikian, urgensi integrasi terletak pada bagaimana AI dapat membantu pendidik mengelola kompleksitas interdisipliner tanpa kehilangan kedalaman substansi.

Selain interdisipliner, urgensi juga didorong oleh tuntutan peningkatan literasi ilmiah pada peserta didik. Studi literatur menegaskan bahwa rendahnya literasi ilmiah seringkali berkorelasi dengan kurangnya pengalaman inkuiri yang autentik (Lieskovský & Sunyík, 2022). Pembelajaran proyek riset berbasis inkuiri terbukti meningkatkan literasi ilmiah karena mendorong siswa memahami hubungan antara teori, bukti, dan penjelasan ilmiah (Cabello, Moreira, & Morales, 2021). Integrasi AI memperluas peluang ini dengan menyediakan visualisasi konsep abstrak, pemodelan berbasis simulasi, dan akses ke repositori data ilmiah yang luas. Dengan begitu, literasi ilmiah tidak hanya dibangun melalui teks, tetapi juga melalui interaksi digital yang memperkuat pengalaman belajar. Urgensi integrasi ini terletak pada bagaimana AI mempercepat proses pembentukan pemahaman ilmiah yang lebih mendalam dan kontekstual.

Urgensi juga hadir dalam konteks penguatan keterampilan penelitian mahasiswa. Penelitian pada pendidikan tinggi menunjukkan bahwa pengalaman proyek riset independen meningkatkan kemampuan mahasiswa dalam scientific

reasoning serta keterlibatan akademik (Isenhour, 2025). AI berperan memperluas pengalaman tersebut dengan mendukung mahasiswa dalam merancang hipotesis, menganalisis data eksperimen, hingga menyusun laporan penelitian berbasis standar ilmiah. AI generatif juga mampu memberikan umpan balik konstruktif yang membantu mahasiswa memperbaiki argumen ilmiah secara lebih cepat dibandingkan dengan pembelajaran tradisional. Hal ini menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran proyek riset bukan hanya tambahan, melainkan kebutuhan untuk memastikan kualitas hasil penelitian mahasiswa lebih konsisten dan akuntabel.

Dimensi evaluasi juga memperkuat urgensi integrasi ini. Studi menyebutkan bahwa asesmen dalam pembelajaran berbasis proyek dan inkuiri sering menghadapi kendala reliabilitas dan konsistensi antar-penilai (Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025). AI dapat membantu dengan menghadirkan sistem evaluasi berbasis rubrik digital yang terstandar, sekaligus memberikan umpan balik formatif secara langsung kepada peserta didik. Dalam pembelajaran berbasis permainan yang memanfaatkan AI, terbukti bahwa pelacakan data proses mampu mengungkap kompleksitas strategi penalaran ilmiah siswa yang sebelumnya sulit diamati (Dever, Wiedbusch, & Azevedo, 2025). Hal ini memperlihatkan bahwa AI tidak hanya berperan dalam pembelajaran, tetapi juga menjadi

instrumen krusial dalam pengembangan sistem evaluasi berbasis bukti.

Aspek inklusivitas menjadi alasan lain mengapa integrasi AI dalam pembelajaran inkuiri berbasis proyek mendesak dilakukan. Penelitian menunjukkan bahwa integrasi STEM di negara berkembang memerlukan adaptasi kontekstual yang memperhatikan keterbatasan infrastruktur dan kebutuhan lokal (Arefin, Chowdhury, & Nishat, 2025). AI dapat membantu menjembatani kesenjangan ini dengan menghadirkan sumber belajar digital yang dapat diakses secara luas, bahkan pada kondisi dengan keterbatasan guru atau fasilitas laboratorium. Selain itu, pengalaman sains interdisipliner yang didukung AI terbukti meningkatkan rasa kebersamaan akademik dan literasi ilmiah pada mahasiswa tahun pertama (Rissanen, Hoang, & Spila, 2023). Dengan demikian, urgensi integrasi AI juga terletak pada kontribusinya dalam menciptakan akses pendidikan yang lebih adil dan merata.

Urgensi berikutnya terletak pada kebutuhan membangun kesadaran etika digital dalam pembelajaran berbasis inkuiri. Riset menunjukkan bahwa program literasi etika AI dalam konteks STEM membantu siswa memahami prinsip integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan teknologi (Walsh, Dalton, Forsyth, & Yeh, 2023). Hal ini sangat relevan mengingat pembelajaran berbasis proyek riset sering melibatkan data sensitif dan keputusan metodologis yang kompleks. Dengan adanya AI, pendidik dapat menanamkan kesadaran tentang

etika digital melalui simulasi kasus, diskusi berbasis data, dan pengenalan praktik keamanan siber. Penguatan aspek etika ini menegaskan bahwa integrasi AI dalam inkuiri bukan hanya soal peningkatan kognitif, melainkan juga membentuk karakter peserta didik agar mampu bertindak sebagai peneliti yang bertanggung jawab.

Selain etika, urgensi juga menyentuh aspek keberlanjutan pendidikan. Pendekatan pembelajaran berbasis proyek riset dengan dukungan AI mendukung terbentuknya pola pikir berkelanjutan dalam pemecahan masalah. Studi menunjukkan bahwa desain proyek berbasis keberlanjutan meningkatkan kesadaran siswa tentang dampak sosial dan lingkungan dari setiap keputusan ilmiah (Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025). AI dapat memperkaya pengalaman ini dengan menyediakan data lingkungan terkini, simulasi perubahan iklim, serta analitik yang memungkinkan siswa memahami hubungan kompleks antara aktivitas manusia dan keberlanjutan. Dengan demikian, urgensi integrasi ini juga berhubungan erat dengan agenda global untuk membangun pendidikan yang berwawasan masa depan.

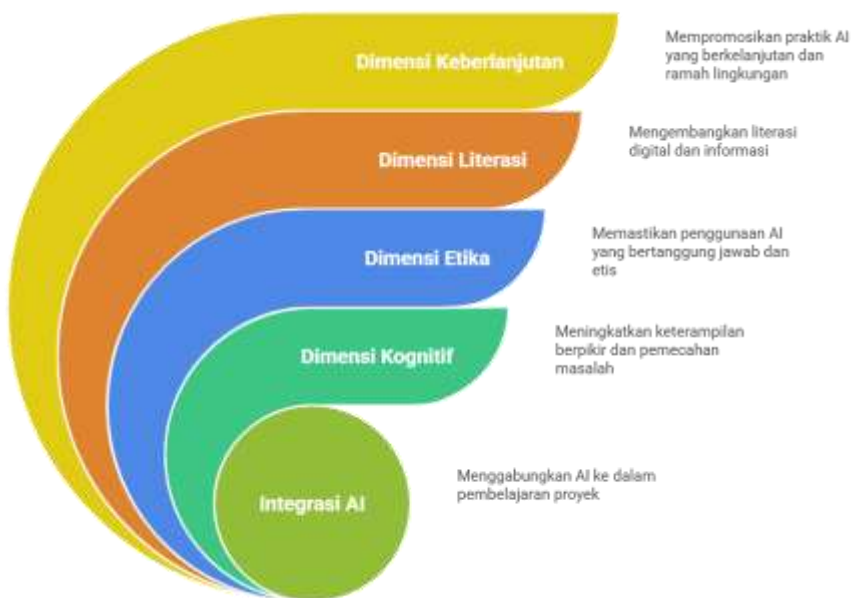
Urgensi lainnya adalah peningkatan efektivitas pembelajaran berbasis proyek di ranah STEM dan STEAM. Kajian menunjukkan bahwa integrasi solver tools dalam pembelajaran proyek dan inkuiri mendorong kemampuan computational thinking mahasiswa (Sangpom & Sangpom, 2025). AI dapat memperkuat aspek ini dengan menyediakan

perangkat otomatisasi analisis data dan visualisasi algoritmik, sehingga proses pembelajaran lebih efisien tanpa mengurangi kualitas berpikir kritis. Penerapan ini penting mengingat computational thinking kini dianggap sebagai salah satu kompetensi esensial abad 21 yang mendukung inovasi lintas bidang. Oleh karena itu, integrasi AI dalam inkuiri berbasis proyek mendesak dilakukan agar generasi muda tidak hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi juga pencipta solusi berbasis teknologi.

Integrasi ini juga mendesak dari perspektif kebijakan pendidikan. Lembaga pendidikan di berbagai negara, termasuk Indonesia, tengah diarahkan untuk beradaptasi dengan era digital melalui kurikulum yang lebih fleksibel, kolaboratif, dan berbasis kompetensi. Literatur internasional menunjukkan bahwa kurikulum yang mengadopsi teknologi AI dalam pembelajaran berbasis proyek dapat menghasilkan kebijakan yang lebih responsif terhadap dinamika sosial dan ekonomi global (Luckin, 2025; Tlili et al., 2024). Buku ini dihadirkan sebagai respon terhadap arah kebijakan tersebut, dengan memberikan landasan konseptual dan praktis bagi pendidik, peneliti, serta pengambil kebijakan untuk memahami urgensi integrasi AI dalam pembelajaran inkuiri berbasis proyek riset.

Akhirnya, urgensi integrasi inquiry-based project learning dengan AI terletak pada kontribusinya terhadap penguatan ekosistem pendidikan yang lebih inovatif, kolaboratif, dan berorientasi pada riset. Kombinasi ini menghadirkan paradigma

baru pembelajaran di mana AI berperan sebagai mitra intelektual dalam membimbing siswa melalui proses investigasi yang kompleks. Dengan kerangka teoretis, model konseptual, dan implikasi praktis yang dibahas dalam buku ini, diharapkan lahir generasi pembelajar yang tidak hanya cakap secara kognitif, tetapi juga memiliki etika, literasi digital, serta kesadaran keberlanjutan yang tinggi. Hal ini menegaskan bahwa integrasi AI bukan sekadar pilihan, melainkan sebuah keharusan strategis untuk memastikan relevansi dan kualitas pendidikan di era digital.



(Gambar 1.11: Dimensi Integrasi Pembelajaran Berbasis Proyek dengan AI)

1.3 Permasalahan Pendidikan Abad 21 dan Tuntutan Critical Thinking

Pendidikan abad 21 menghadapi dinamika global yang semakin kompleks, mulai dari perkembangan teknologi digital, perubahan iklim, hingga disrupsi sosial-ekonomi yang menuntut generasi muda memiliki keterampilan berpikir tingkat tinggi. Salah satu keterampilan utama yang menjadi sorotan adalah critical thinking, karena menjadi fondasi dalam mengambil keputusan berbasis bukti, memecahkan masalah yang tidak terstruktur, serta menghadapi banjir informasi digital. Studi literatur menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri memberikan kontribusi signifikan terhadap penguatan kemampuan berpikir kritis karena melibatkan peserta didik secara aktif dalam formulasi pertanyaan, perancangan eksperimen, dan evaluasi hasil (Arifin, Sukarmin, Saputro, & Kamari, 2025). Tanpa keterampilan ini, peserta didik berisiko terjebak pada pola pikir pasif yang hanya menerima informasi tanpa mampu mengevaluasi validitasnya. Urgensi membangun critical thinking menjadi semakin besar ketika informasi digital yang beredar sering kali bias, menyesatkan, atau bahkan bersifat manipulatif.

Permasalahan lain yang mengemuka dalam pendidikan abad 21 adalah rendahnya kemampuan penalaran ilmiah di berbagai negara, termasuk Indonesia. Penelitian menunjukkan bahwa literasi sains masih menjadi tantangan, terutama pada level sekolah menengah dan perguruan tinggi, di mana siswa

sering kesulitan menghubungkan teori dengan bukti empiris (Lieskovský & Sunyík, 2022). Rendahnya literasi ilmiah ini tidak hanya menghambat pemahaman konsep, tetapi juga berdampak pada lemahnya keterampilan berpikir kritis. Kajian yang dilakukan oleh Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menegaskan bahwa program berbasis critical thinking dapat meningkatkan keterampilan ilmiah calon pendidik, termasuk dalam hal argumentasi dan analisis bukti. Temuan ini memperlihatkan bahwa solusi yang diperlukan adalah pembelajaran yang menekankan keterlibatan aktif peserta didik dalam menyelidiki fenomena, menganalisis data, dan menyusun argumen ilmiah yang sah.

Selain literasi sains, tantangan lain yang dihadapi adalah meningkatnya kebutuhan akan literasi digital di era global. Generasi muda seringkali terpapar pada informasi berlebihan melalui media sosial dan internet, namun belum tentu memiliki kemampuan menilai kredibilitas informasi tersebut. Studi yang dilakukan oleh Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menunjukkan bahwa kemampuan berpikir analitis tinggi tidak selalu menjamin rendahnya kepercayaan terhadap teori konspirasi. Kondisi ini menegaskan bahwa keterampilan berpikir kritis tidak otomatis terbentuk melalui paparan informasi, tetapi harus dilatih secara sistematis melalui pembelajaran berbasis inkuiri. Dengan mengintegrasikan AI dalam inkuiri, peserta didik dapat dilatih untuk menilai validitas data, membandingkan sumber informasi, serta mengevaluasi argumen secara objektif.

Hal ini menjadikan integrasi AI bukan sekadar tren teknologi, tetapi solusi strategis untuk menjawab tantangan literasi digital dan informasi palsu.



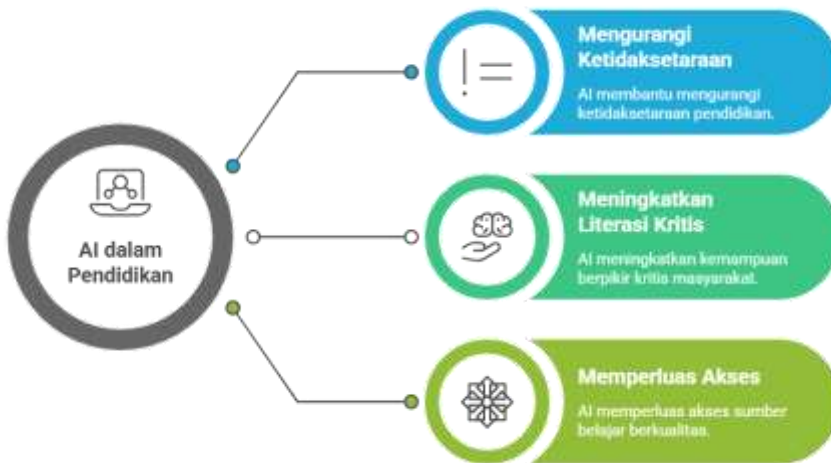
(Gambar 1.12: Membangun Kompetensi Digital Holistik)

Tantangan berikutnya berkaitan dengan kemampuan pemecahan masalah kompleks yang melibatkan berbagai disiplin ilmu. Pendidikan abad 21 menuntut peserta didik untuk dapat mengintegrasikan pengetahuan dari berbagai bidang dalam menyelesaikan persoalan yang nyata, seperti perubahan iklim, kesehatan publik, dan transformasi digital. Pendekatan berbasis proyek riset yang dikombinasikan dengan inkuiri terbukti efektif untuk mengembangkan keterampilan lintas disiplin, karena peserta didik terlibat langsung dalam

perancangan solusi berbasis bukti (Sangpom & Sangpom, 2025). Namun, tanpa keterampilan berpikir kritis, integrasi lintas disiplin tersebut akan sulit dicapai. AI dapat membantu dengan memberikan simulasi skenario kompleks, analitik lintas bidang, serta rekomendasi berbasis data besar yang memperkuat kapasitas analisis. Oleh karena itu, urgensi membangun critical thinking dalam pendidikan abad 21 tidak dapat dilepaskan dari kebutuhan untuk menghadapi masalah kompleks dengan perspektif interdisipliner.

Permasalahan pendidikan juga terkait dengan masih terbatasnya instrumen valid untuk mengukur keterampilan berpikir kritis dan penalaran ilmiah. Penelitian yang dilakukan oleh Welter, Dawborn-Gundlach, Großmann, dan Krell (2024) melalui adaptasi skala efikasi diri dengan pendekatan Rasch measurement menunjukkan bahwa instrumen yang valid dan reliabel sangat diperlukan untuk mendiagnosis kesiapan pedagogis guru dalam melatih scientific reasoning. Ketika instrumen pengukuran tidak memadai, evaluasi terhadap keterampilan berpikir kritis peserta didik juga menjadi tidak konsisten. Oleh sebab itu, tantangan utama adalah menyediakan instrumen asesmen yang dapat digunakan secara luas, reliabel, dan sesuai dengan konteks budaya lokal. Integrasi AI dalam asesmen memberikan peluang baru melalui analisis data otomatis, umpan balik real time, dan pelacakan proses berpikir peserta didik, sehingga pengukuran keterampilan kritis dapat lebih akurat.

Permasalahan berikutnya adalah kesenjangan antarwilayah dan akses pendidikan. Studi yang dilakukan oleh Arefin, Chowdhury, dan Nishat (2025) di Bangladesh menyoroti bahwa integrasi STEM dalam pendidikan masih menghadapi kendala terkait infrastruktur dan pelatihan guru. Kondisi serupa juga ditemui di berbagai negara berkembang, termasuk Indonesia. Tanpa akses pendidikan yang merata, keterampilan berpikir kritis sulit untuk ditanamkan secara konsisten pada seluruh peserta didik. Dalam konteks ini, AI berpotensi menjadi solusi dengan menyediakan sumber belajar digital yang dapat diakses secara luas, meskipun dalam kondisi keterbatasan sumber daya. Dengan dukungan AI, pembelajaran berbasis inkuiri dan proyek riset dapat dirancang lebih inklusif, sehingga membantu mengurangi kesenjangan pendidikan antarwilayah.



(Gambar 1.13: Membuka Potensi AI dalam Pendidikan)

Tuntutan global dalam pendidikan abad 21 juga meliputi pembangunan keterampilan kolaboratif. Kajian menunjukkan

bahwa pembelajaran berbasis inkuiri mendorong peserta didik untuk terlibat dalam kerja kelompok yang memerlukan komunikasi, koordinasi, dan negosiasi (Chu et al., 2017). Kolaborasi ini merupakan bagian integral dari keterampilan berpikir kritis karena peserta didik belajar menilai argumen satu sama lain, menguji validitas bukti, serta membangun kesimpulan bersama. AI dapat memperkaya proses kolaboratif dengan menghadirkan platform digital yang memfasilitasi diskusi, membandingkan argumen, serta menampilkan analitik partisipasi. Dengan demikian, integrasi AI tidak hanya memperkuat keterampilan individual, tetapi juga mendukung keterampilan kolaboratif yang sangat penting dalam dunia kerja global.

Permasalahan lain adalah kurangnya pengalaman belajar yang kontekstual dan autentik. Pendidikan tradisional sering menekankan hafalan konsep tanpa memberikan pengalaman nyata dalam mengaplikasikan pengetahuan. Hal ini bertolak belakang dengan kebutuhan abad 21 yang menuntut peserta didik mampu menerapkan konsep dalam konteks dunia nyata. Studi oleh Wang (2024) menekankan pentingnya pendekatan berbasis proyek dalam sains dan teknologi untuk menghasilkan pengalaman belajar yang lebih bermakna. Integrasi AI dalam proyek riset dapat memberikan simulasi dunia nyata, memperkaya data kontekstual, dan menyediakan umpan balik yang relevan, sehingga pengalaman belajar lebih autentik. Keterampilan berpikir kritis akan terbentuk secara alami ketika

peserta didik berinteraksi dengan masalah nyata yang menuntut analisis mendalam.

Permasalahan pendidikan juga terkait erat dengan tantangan keberlanjutan. Dunia saat ini menghadapi krisis lingkungan, energi, dan sosial yang memerlukan solusi berbasis sains dan riset. Pendidikan yang menekankan proyek riset berbasis inkuiri dapat menjadi media untuk melatih peserta didik memahami keterkaitan kompleks antar variabel lingkungan dan sosial (Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025). AI memperkuat hal ini melalui pemodelan berbasis data besar yang mampu memprediksi dampak dari berbagai skenario. Dengan demikian, keterampilan berpikir kritis tidak hanya dikembangkan untuk kepentingan akademis, tetapi juga untuk membangun kesadaran keberlanjutan yang penting bagi masa depan.



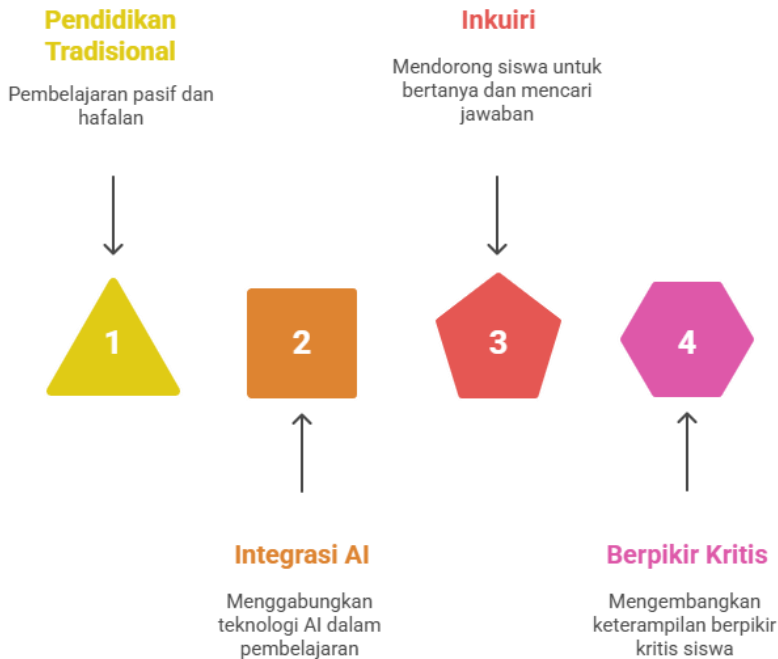
(Gambar 1.14: Keterkaitan critical thinking dan pendidikan berkelanjutan)

Permasalahan pendidikan abad 21 juga melibatkan isu etika dan integritas akademik. Perkembangan AI menimbulkan kekhawatiran terkait plagiarisme, manipulasi data, dan keadilan dalam evaluasi. Studi yang dilakukan oleh Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri yang menyoroti aspek integritas, kerahasiaan, dan keadilan dapat meningkatkan kesadaran etis siswa terhadap penggunaan AI dan keamanan siber. Hal ini menunjukkan bahwa keterampilan berpikir kritis tidak dapat dilepaskan dari dimensi etis, karena peserta didik harus mampu mengevaluasi implikasi moral dari penggunaan teknologi. Buku ini menekankan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran inkuiri berbasis proyek harus selalu diiringi dengan pendidikan etika digital.

Permasalahan lain yang mengemuka adalah kebutuhan untuk menyiapkan peserta didik menghadapi dunia kerja yang sangat dinamis. Laporan global menunjukkan bahwa banyak pekerjaan masa depan akan membutuhkan keterampilan analisis data, pemecahan masalah, serta berpikir kritis yang kuat (Tlili et al., 2024). Model pembelajaran berbasis proyek riset dengan dukungan AI menawarkan jalur langsung untuk menyiapkan keterampilan tersebut. Peserta didik tidak hanya belajar memahami teori, tetapi juga terlibat langsung dalam proses riset yang menyerupai praktik dunia kerja. Hal ini menjadikan

pembelajaran lebih relevan, kontekstual, dan mempersiapkan peserta didik menghadapi transformasi ekonomi digital.

Akhirnya, permasalahan pendidikan abad 21 tidak dapat diselesaikan dengan pendekatan tradisional semata. Tantangan global yang kompleks menuntut transformasi sistem pembelajaran menuju model yang lebih adaptif, berbasis riset, dan terintegrasi dengan teknologi. Buku ini hadir sebagai jawaban terhadap kebutuhan tersebut, dengan menekankan bahwa keterampilan berpikir kritis merupakan inti dari pendidikan modern. Dengan mengintegrasikan AI ke dalam inquiry-based project learning, pendidikan dapat bergerak dari sekadar transfer pengetahuan menuju pembentukan generasi pembelajar yang mandiri, kritis, dan inovatif. Sintesis teoretis dan empiris dalam buku ini diharapkan menjadi kontribusi nyata dalam mengatasi permasalahan pendidikan abad 21 melalui penguatan keterampilan berpikir kritis yang berorientasi pada riset dan keberlanjutan (Fitriadi et al., 2024; Rapi et al., 2025; Dai et al., 2025).



(Gambar 1.15: Roadmap pendidikan abad 21)

1.4 Kontribusi Buku Referensi dalam Pengembangan Ilmu Pendidikan

Buku referensi ini memberikan kontribusi fundamental terhadap pengembangan ilmu pendidikan melalui penyusunan kerangka konseptual tentang integrasi inquiry-based project learning dengan kecerdasan buatan (AI). Selama beberapa dekade, literatur pendidikan menekankan pentingnya inkuiri sebagai landasan epistemologis pembelajaran, sementara proyek riset dipandang sebagai wahana untuk melatih keterampilan ilmiah yang autentik (Chu, Reynolds, Tavares, Notari, & Lee, 2017). Namun, perkembangan teknologi digital dan AI telah membuka paradigma baru di mana pembelajaran

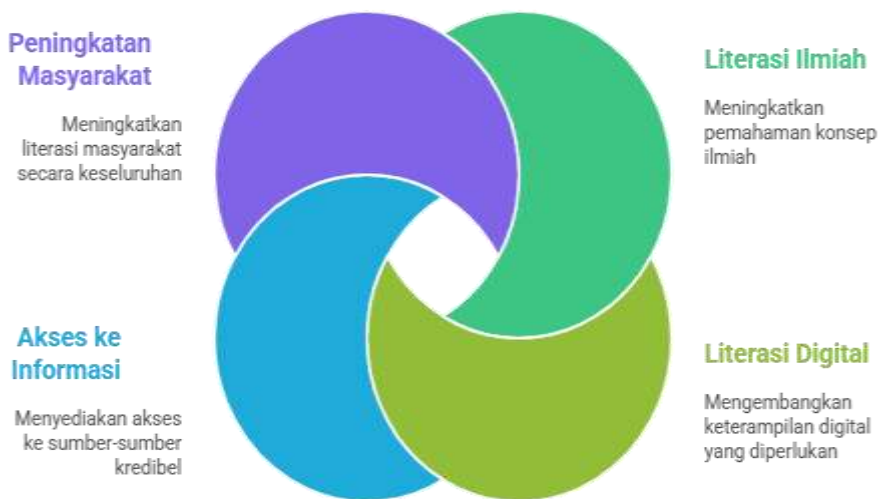
tidak hanya berbasis interaksi guru-siswa, tetapi juga diperkuat dengan sistem cerdas yang mampu memberikan umpan balik adaptif, menganalisis data belajar, dan mendukung pengambilan keputusan. Kontribusi utama buku ini adalah menjembatani kesenjangan antara teori pedagogis klasik dengan inovasi digital, sehingga menghadirkan pendekatan baru yang mampu memperkuat relevansi ilmu pendidikan dalam menghadapi tantangan abad ke-21.

Kontribusi lain terletak pada penyediaan model pembelajaran yang bersifat sistematis, terstruktur, dan dapat direplikasi di berbagai level pendidikan. Model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning yang ditawarkan dalam buku ini tidak hanya menekankan pada sintaks tahapan inkuiri, tetapi juga memasukkan peran AI sebagai mitra intelektual dalam setiap fase pembelajaran. Hal ini menambah khazanah ilmu pendidikan, karena sebelumnya integrasi teknologi seringkali hanya ditempatkan sebagai pelengkap, bukan bagian integral dari desain pedagogis (Dai et al., 2025). Dengan menyediakan sintaks, peran, dan indikator evaluasi yang jelas, buku ini berkontribusi pada penguatan disiplin ilmu pendidikan yang berbasis pada penelitian mutakhir, sekaligus menjawab kebutuhan kurikulum yang semakin menekankan pada penguasaan literasi digital dan sains.

Selain itu, buku ini memberikan kontribusi dalam pengembangan instrumen asesmen pendidikan. Salah satu tantangan utama dalam penguatan ilmu pendidikan adalah

keterbatasan instrumen yang valid dan reliabel untuk mengukur scientific reasoning serta keterampilan berpikir kritis. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pengembangan instrumen yang terkalibrasi dengan baik, seperti pengukuran berbasis Rasch, dapat meningkatkan akurasi evaluasi (Welter, Dawborn-Gundlach, Großmann, & Krell, 2024). Buku ini menyintesis temuan tersebut dengan menawarkan desain evaluasi berbasis AI yang memungkinkan asesmen lebih adaptif, berbasis bukti, dan real-time. Kontribusi ini penting, karena memperluas cakupan asesmen dari sekadar hasil akhir menuju pelacakan proses berpikir peserta didik secara menyeluruh, sehingga memperkaya metodologi dalam ilmu pendidikan.

Kontribusi signifikan lain adalah pada penguatan literasi ilmiah dan digital peserta didik. Studi menegaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri meningkatkan kemampuan siswa menghubungkan teori dengan bukti empiris, sementara literasi digital menjadi faktor penting dalam menyeleksi informasi yang kredibel (Lieskovský & Sunyík, 2022; Georgiou, Delfabbro, & Balzan, 2021). Buku ini menawarkan kerangka praktis bagaimana AI dapat berfungsi sebagai alat bantu dalam mengembangkan keterampilan tersebut, misalnya melalui simulasi, visualisasi data, dan analitik pembelajaran. Dengan demikian, kontribusi buku ini bukan hanya pada penguatan aspek kognitif, tetapi juga pada pembentukan disposisi ilmiah yang kritis, etis, dan berorientasi pada kebenaran ilmiah.



(Gambar 1.16: Meningkatkan Literasi Melalui Buku Referensi)

Selain aspek peserta didik, buku ini juga memberikan kontribusi bagi pengembangan profesional guru dan dosen. Dalam pendidikan abad 21, pendidik dituntut untuk tidak hanya menguasai materi ajar, tetapi juga mampu merancang pembelajaran berbasis inkuiri yang memanfaatkan teknologi digital secara optimal. Kajian oleh Parmin, Khusniati, El Islami, Deta, dan Saregar (2022) memperlihatkan bahwa strategi argumentasi ilmiah berbasis inkuiri meningkatkan keterampilan penalaran calon guru sains. Buku ini memperluas kontribusi tersebut dengan menawarkan kerangka implementasi berbasis AI yang memungkinkan guru memperoleh data analitik terkait perkembangan siswa, sehingga strategi pembelajaran dapat disesuaikan secara tepat. Dengan cara ini, ilmu pendidikan

diperkuat melalui penyediaan panduan praktis yang relevan dengan tuntutan era digital.

Buku ini juga berkontribusi pada pengembangan kebijakan pendidikan. Literatur global menunjukkan bahwa kebijakan pendidikan yang responsif terhadap perkembangan teknologi memberikan dampak positif terhadap kualitas pembelajaran (Tlili et al., 2024). Dengan menyajikan kerangka konseptual dan bukti empiris, buku ini dapat menjadi acuan bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan regulasi terkait integrasi AI dalam kurikulum, asesmen, dan pelatihan pendidik. Kontribusi ini penting, karena ilmu pendidikan bukan hanya membicarakan praktik di kelas, tetapi juga harus berimplikasi pada level sistemik yang lebih luas.

Kontribusi lain adalah penyediaan sintesis antara pendidikan STEM/STEAM dan penguatan critical thinking. Penelitian menegaskan bahwa pembelajaran proyek riset yang berbasis inkuiri efektif dalam meningkatkan literasi sains dan computational thinking mahasiswa (Sangpom & Sangpom, 2025). Buku ini menyajikan kerangka integrasi AI untuk memperkaya pengalaman tersebut melalui pemodelan digital, solver tools, dan pembelajaran adaptif. Kontribusi ini memberikan arah baru bagi ilmu pendidikan dalam memadukan pedagogi klasik dengan inovasi digital, sehingga menghasilkan pembelajaran yang lebih relevan dengan kebutuhan industri dan masyarakat global.



(Gambar 1.17: Meningkatkan pendidikan STEM/STEAM dengan AI)

Selain STEM, buku ini juga menyoroti kontribusi pada pendidikan berkelanjutan. Tantangan global seperti perubahan iklim, krisis energi, dan ketidakadilan sosial membutuhkan pendidikan yang mampu membekali peserta didik dengan keterampilan berpikir kritis serta kesadaran keberlanjutan. Penelitian oleh Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan pentingnya desain PBL berbasis keberlanjutan untuk menumbuhkan kesadaran ekologis. Buku ini memperluas wacana tersebut dengan menawarkan bagaimana AI dapat menyediakan data lingkungan terkini, pemodelan prediktif, serta simulasi yang membantu peserta didik memahami dampak

jangka panjang dari keputusan yang diambil. Kontribusi ini memperkaya ilmu pendidikan dengan memasukkan perspektif keberlanjutan sebagai bagian integral dari pembelajaran.

Buku ini juga memberikan kontribusi terhadap pendekatan asesmen formatif. Kajian menunjukkan bahwa umpan balik formatif merupakan salah satu kunci peningkatan hasil belajar, tetapi praktiknya seringkali sulit dilakukan dalam kelas besar. Integrasi AI memungkinkan pemberian umpan balik otomatis yang kontekstual dan personal, sehingga memperkuat efektivitas asesmen formatif (Divjak, Svetec, & Aničić, 2025). Hal ini memberi kontribusi nyata bagi ilmu pendidikan karena memperkenalkan metode baru yang tidak hanya efisien, tetapi juga lebih akurat dalam mengidentifikasi kebutuhan belajar peserta didik.

Kontribusi buku ini juga mencakup penguatan kolaborasi internasional dalam riset pendidikan. Literatur terbaru menekankan bahwa pengalaman riset lintas negara memperkuat keterampilan ilmiah dan literasi sains mahasiswa (Rissanen, Hoang, & Spila, 2023). Dengan menampilkan studi kasus internasional dan nasional, buku ini memberikan gambaran komparatif yang memperkaya perspektif ilmu pendidikan. Kontribusi ini memperlihatkan bagaimana praktik terbaik dari berbagai konteks dapat diadaptasi sesuai kebutuhan lokal, sekaligus memperkuat jejaring akademik global.



(Gambar 1.18: Membangun Jembatan Pengetahuan Global)

Akhirnya, kontribusi utama buku ini adalah menghadirkan sintesis teoretis, model konseptual, dan implikasi praktis yang dapat diimplementasikan dalam pendidikan abad 21. Dengan menggabungkan pendekatan inkuiri, proyek riset, dan kecerdasan buatan, buku ini memberikan landasan kuat untuk membangun pendidikan yang lebih inovatif, adaptif, dan berorientasi masa depan. Kontribusi tersebut diharapkan memperkuat ilmu pendidikan dalam menghadapi tantangan global sekaligus mempersiapkan generasi muda yang kritis, kreatif, dan bertanggung jawab.

1.5 Tujuan Penyusunan Buku

Tujuan utama penyusunan buku ini adalah menyediakan referensi akademik yang komprehensif mengenai integrasi inquiry-based project learning dengan kecerdasan buatan (AI) sebagai strategi pedagogis untuk menghadapi tantangan pendidikan abad ke-21. Pendidikan modern menuntut peserta didik tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu mengaplikasikan pengetahuan tersebut dalam konteks nyata melalui riset dan proyek. AI hadir sebagai katalis yang mempercepat, memperkaya, dan memvalidasi proses inkuiri dengan menyediakan analitik berbasis data, simulasi digital, dan umpan balik adaptif (Chang, Park, & Park, 2023; Luckin, 2025). Dengan demikian, tujuan buku ini adalah menghadirkan kerangka konseptual sekaligus praktis agar pendidik, peneliti, dan pengambil kebijakan memiliki panduan jelas dalam merancang pembelajaran berbasis riset yang diperkuat teknologi.

Tujuan lain dari buku ini adalah memperkuat literasi ilmiah peserta didik melalui integrasi pendekatan inkuiri, proyek riset, dan AI. Literasi ilmiah merupakan prasyarat penting agar generasi muda mampu memahami, menganalisis, dan mengevaluasi fenomena sains secara kritis. Penelitian menunjukkan bahwa praktik inkuiri terbukti efektif meningkatkan kemampuan menghubungkan teori dengan bukti empiris, namun implementasinya seringkali tidak konsisten karena keterbatasan sumber daya (Lieskovský & Sunyík, 2022). Buku ini

bertujuan untuk memberikan strategi terstruktur bagaimana AI dapat membantu menyediakan simulasi eksperimen, mengoreksi miskonsepsi, dan memperkuat argumentasi ilmiah. Dengan kerangka ini, literasi sains diharapkan berkembang secara berkelanjutan dan sejalan dengan perkembangan digital.

Selain memperkuat literasi ilmiah, tujuan buku ini juga adalah mengembangkan keterampilan berpikir kritis peserta didik melalui aktivitas riset yang autentik. Kajian menegaskan bahwa program berbasis critical thinking efektif meningkatkan kemampuan analisis, evaluasi bukti, serta keterampilan argumentasi (Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, & Páez Rovira, 2022). Dengan dukungan AI, keterampilan berpikir kritis dapat diasah secara lebih konsisten melalui umpan balik metakognitif, pelacakan proses investigasi, dan analisis berbasis data besar (Drummond Otten & Fischhoff, 2023). Buku ini bertujuan memperlihatkan bagaimana integrasi tersebut dapat diterapkan secara praktis sehingga berpikir kritis bukan hanya konsep normatif, tetapi kompetensi nyata yang melekat pada peserta didik.

Tujuan lainnya adalah mendukung pengembangan profesional pendidik dalam merancang, melaksanakan, dan mengevaluasi pembelajaran berbasis inkuiri dan proyek riset. Pendidik abad 21 dituntut untuk menguasai literasi digital sekaligus metodologi riset dalam mendukung pembelajaran (Parmin, Khusniati, El Islami, Deta, & Saregar, 2022). Buku ini memberikan panduan implementatif tentang bagaimana AI

dapat digunakan untuk memantau perkembangan siswa, menyediakan instrumen asesmen yang adaptif, dan mendukung refleksi guru dalam memperbaiki praktik pembelajaran. Dengan demikian, tujuan penyusunan buku ini juga adalah memperkuat kapasitas guru dan dosen agar mampu menjadi fasilitator riset yang inovatif.



(Gambar 1.19: Meningkatkan Kualitas Pendidikan)

Buku ini juga bertujuan menyajikan kontribusi teoritis dengan menawarkan model pembelajaran baru, yakni AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning. Model ini mengintegrasikan tahapan inkuiri dengan manajemen proyek riset yang diperkuat AI, sehingga menghasilkan sintaks yang jelas, indikator evaluasi yang konsisten, serta peran yang seimbang antara guru, peserta didik, dan teknologi (Dai et al., 2025; Ma & Wu, 2025). Tujuan penyusunan buku ini adalah memastikan bahwa model ini dapat direplikasi, dikembangkan,

dan diadaptasi pada berbagai konteks pendidikan, baik di sekolah dasar, menengah, maupun perguruan tinggi.

Tujuan selanjutnya adalah memberikan landasan bagi pengembangan instrumen asesmen yang valid dan reliabel untuk menilai keterampilan berpikir kritis dan scientific reasoning. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa asesmen berbasis Rasch dan instrumen adaptif dapat meningkatkan akurasi pengukuran (Welter, Dawborn-Gundlach, Großmann, & Krell, 2024). Buku ini bertujuan menyajikan kerangka asesmen berbasis AI yang memungkinkan pelacakan proses belajar secara real time, memberikan umpan balik formatif, serta memperkaya evaluasi pembelajaran. Hal ini diharapkan menjadi kontribusi nyata dalam memperbaiki praktik asesmen di bidang ilmu pendidikan.

Tujuan lain dari buku ini adalah memperluas wacana mengenai integrasi pendidikan STEM/STEAM dengan teknologi AI untuk membentuk keterampilan abad 21 yang lebih relevan. Penelitian menegaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan dukungan solver tools mampu meningkatkan kemampuan computational thinking mahasiswa (Sangpom & Sangpom, 2025). Buku ini bertujuan menghadirkan kerangka konseptual bagaimana AI dapat memperkuat dimensi tersebut melalui simulasi digital, otomatisasi analisis data, serta personalisasi lintasan belajar. Kontribusi ini memastikan bahwa pendidikan tidak hanya berfokus pada teori, tetapi juga

mengembangkan keterampilan teknis yang dibutuhkan di dunia kerja modern.



(Gambar 1.20: Meningkatkan Pendidikan dengan AI)

Buku ini juga bertujuan memperkuat agenda keberlanjutan dalam pendidikan. Tantangan lingkungan, energi, dan sosial memerlukan generasi muda yang memiliki kesadaran kritis terhadap dampak jangka panjang keputusan ilmiah. Penelitian oleh Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa desain proyek riset berbasis keberlanjutan efektif menumbuhkan kesadaran ekologis siswa. Buku ini bertujuan memperlihatkan bagaimana AI dapat menyediakan data lingkungan, simulasi prediktif, dan pemodelan berbasis big

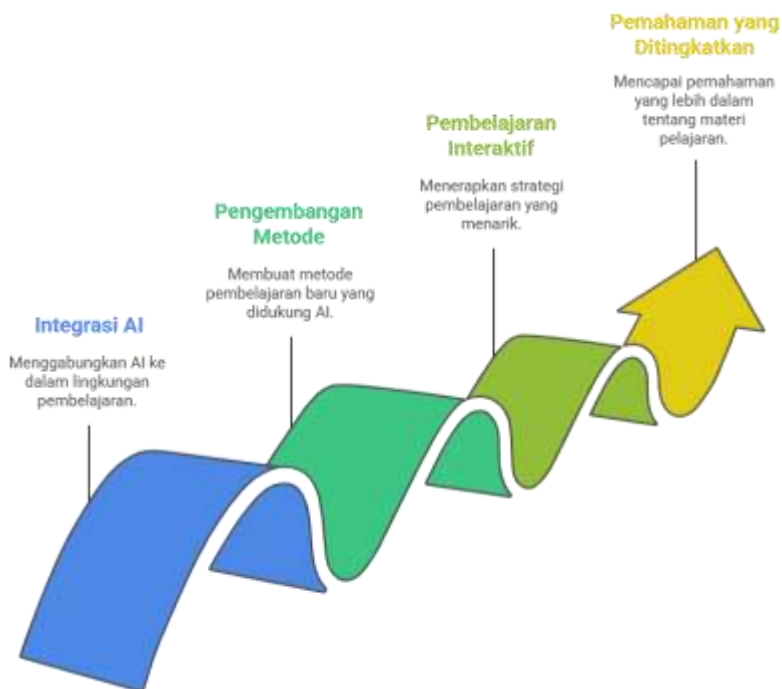
data yang memungkinkan siswa memahami keterkaitan kompleks antar variabel. Dengan demikian, tujuan penyusunan buku ini tidak hanya terbatas pada aspek akademik, tetapi juga pada kontribusi membangun kesadaran keberlanjutan global.

Tujuan lainnya adalah menyediakan referensi untuk kebijakan pendidikan yang responsif terhadap transformasi digital. Studi literatur menunjukkan bahwa kebijakan pendidikan yang mengintegrasikan AI dalam kurikulum dan asesmen berdampak positif pada kualitas pembelajaran (Tlili et al., 2024). Buku ini bertujuan menjadi acuan bagi pembuat kebijakan dalam merumuskan strategi, regulasi, dan roadmap integrasi AI ke dalam sistem pendidikan. Dengan kerangka berbasis bukti, buku ini diharapkan dapat mendukung perumusan kebijakan yang inovatif, inklusif, dan berorientasi pada masa depan.

Buku ini juga bertujuan memperkaya perspektif riset pendidikan melalui penyajian studi kasus internasional dan nasional. Pengalaman lintas negara memperlihatkan variasi implementasi inkuiri dan proyek riset yang dapat menjadi bahan perbandingan untuk mengembangkan praktik terbaik (Rissanen, Hoang, & Spila, 2023). Dengan menghadirkan sintesis dari berbagai konteks, buku ini bertujuan membangun pemahaman komparatif yang relevan sekaligus memperkuat jejaring akademik global. Hal ini memastikan bahwa kontribusi buku ini tidak hanya bersifat lokal, tetapi juga global.

Tujuan terakhir adalah membangun fondasi penelitian lanjutan tentang integrasi AI dalam pendidikan berbasis inkuiri

dan proyek riset. Banyak studi telah menyoroti manfaat inkuiri dan PBL, namun integrasi dengan AI masih merupakan wilayah baru yang membutuhkan eksplorasi mendalam (El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, & Al Ibrahmi, 2025). Buku ini bertujuan membuka ruang kajian baru dengan memberikan kerangka teoritis, model, dan implikasi praktis yang dapat dijadikan pijakan bagi penelitian di masa depan. Dengan cara ini, penyusunan buku ini diharapkan berkontribusi pada perkembangan ilmu pendidikan yang lebih dinamis, adaptif, dan berorientasi pada inovasi.



(Gambar 1.21: Mencapai Pembelajaran yang ditingkatkan AI)

1.6 Manfaat Teoretis dan Praktis Buku

Buku ini memiliki manfaat teoretis dengan memperluas khazanah ilmu pendidikan melalui integrasi inquiry-based project learning dan kecerdasan buatan (AI). Selama ini, penelitian pendidikan menempatkan inkuiri sebagai salah satu pendekatan paling efektif untuk melatih keterampilan ilmiah, sedangkan proyek riset dipandang sebagai wahana aplikasi nyata keterampilan tersebut (Chu, Reynolds, Tavares, Notari, & Lee, 2017). Kehadiran AI memperkuat kerangka ini dengan menghadirkan instrumen analitik, simulasi, serta scaffolding digital yang mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran. Secara teoretis, buku ini memberikan kontribusi pada pengembangan model konseptual baru, yaitu AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning, yang menggabungkan prinsip pedagogi klasik dengan inovasi teknologi terkini.

Selain kontribusi teoretis, manfaat praktis buku ini adalah menyediakan panduan implementasi pembelajaran yang adaptif terhadap kebutuhan abad ke-21. Guru, dosen, dan peneliti dapat menggunakan model ini untuk merancang pengalaman belajar yang kontekstual, autentik, dan berbasis riset. Studi empiris menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek riset meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemecahan masalah kompleks (Sangpom & Sangpom, 2025). Dengan tambahan dukungan AI, implementasi ini lebih efisien karena peserta didik memperoleh umpan balik real time, simulasi berbasis data besar, serta evaluasi otomatis yang relevan

dengan hasil belajar. Hal ini membuat model yang ditawarkan tidak hanya konseptual, tetapi juga aplikatif dalam praktik kelas.

Manfaat teoretis lain adalah memperkuat pemahaman tentang scientific reasoning. Penelitian menunjukkan bahwa levels of inquiry mendukung perkembangan keterampilan kontrol variabel, deduksi, dan penjelasan kausal (Yanto, Subali, & Suyanto, 2019). Buku ini menyintesis temuan tersebut dengan memposisikan AI sebagai penguat penalaran ilmiah melalui analitik pembelajaran, pelacakan data proses, dan simulasi digital. Dengan demikian, manfaat teoretisnya adalah memperkaya perspektif pendidikan mengenai bagaimana AI dapat berfungsi sebagai mitra intelektual dalam mengembangkan penalaran ilmiah, bukan sekadar alat bantu teknis.



(Gambar 1.22: Manfaat integrasi AI dalam scientific reasoning)

Dari sisi praktis, buku ini bermanfaat untuk mendukung pengembangan profesional pendidik. Guru dan dosen dapat memanfaatkan kerangka yang disajikan untuk meningkatkan kemampuan merancang pembelajaran berbasis riset dengan pendekatan inkuiri yang diperkuat teknologi. Studi yang dilakukan oleh Parmin, Khusniati, El Islami, Deta, dan Saregar (2022) menunjukkan bahwa strategi argumentasi ilmiah meningkatkan keterampilan penalaran calon guru. Dengan integrasi AI, proses ini dapat diperkuat melalui pemberian data simulatif, umpan balik metakognitif, serta alat evaluasi berbasis bukti. Oleh karena itu, manfaat praktisnya adalah membantu pendidik menjadi fasilitator pembelajaran riset yang lebih inovatif dan reflektif.

Manfaat teoretis lain adalah kontribusi dalam mengembangkan instrumen asesmen adaptif. Selama ini, pengukuran keterampilan berpikir kritis dan scientific reasoning menghadapi kendala reliabilitas dan validitas. Penelitian berbasis Rasch measurement menegaskan bahwa asesmen yang terkalibrasi lebih mampu mengidentifikasi tingkat kompetensi siswa secara akurat (Welter, Dawborn-Gundlach, Großmann, & Krell, 2024). Buku ini memberikan manfaat teoretis dengan menyusun kerangka asesmen berbasis AI yang memungkinkan pengukuran real time, pelacakan proses berpikir, serta umpan balik formatif yang lebih efektif. Hal ini memperkaya metodologi evaluasi dalam ilmu pendidikan.

Manfaat praktis juga dapat dirasakan dalam konteks kebijakan pendidikan. Dengan adanya model konseptual dan bukti empiris yang disajikan, pembuat kebijakan dapat menggunakan buku ini sebagai acuan dalam merumuskan strategi integrasi AI ke dalam kurikulum dan asesmen. Studi menunjukkan bahwa kebijakan pendidikan yang responsif terhadap perkembangan teknologi berdampak positif terhadap kualitas pembelajaran (Tlili et al., 2024). Dengan demikian, manfaat praktis buku ini adalah menjadi rujukan strategis bagi pembuat kebijakan dalam menyusun regulasi dan roadmap digitalisasi pendidikan.



(Gambar 1.23: Peran buku dalam kebijakan pendidikan berbasis AI)

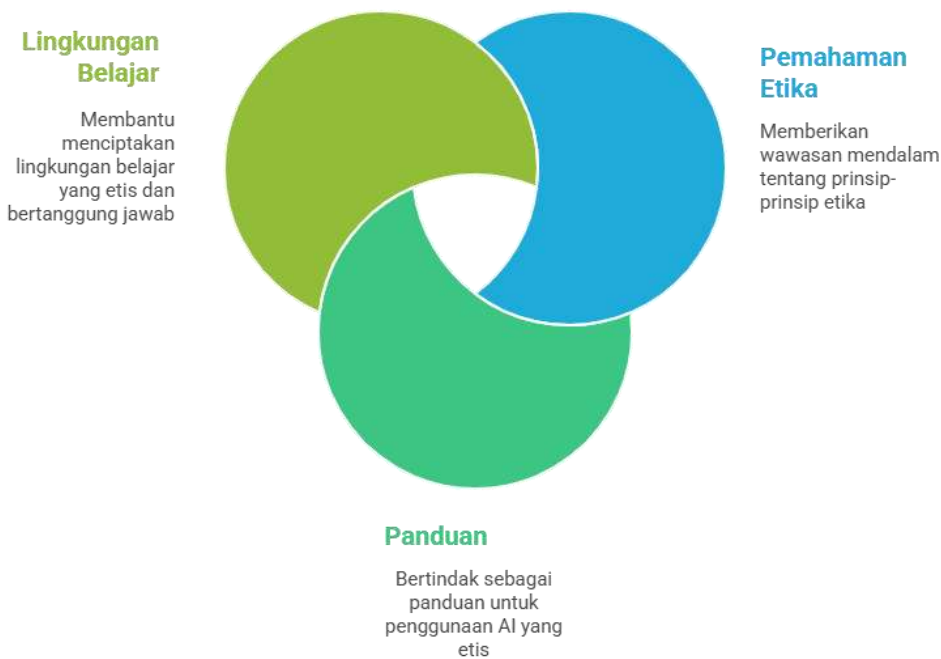
Manfaat teoretis lain adalah memperkaya literatur tentang integrasi STEM/STEAM dengan AI. Penelitian terbaru

menegaskan bahwa pembelajaran proyek riset berbasis inkuiri dapat meningkatkan literasi sains, computational thinking, serta keterampilan abad 21 (Supianti, Yaniawati, Bonyah, Hasbiah, & Rozalini, 2025). Buku ini mengkontekstualisasikan temuan tersebut dengan menyajikan kerangka bagaimana AI dapat berperan dalam otomatisasi analisis data, personalisasi lintasan belajar, dan simulasi digital. Hal ini memberikan kontribusi teoritis yang penting bagi pengembangan ilmu pendidikan berbasis integrasi lintas disiplin.

Pada sisi praktis, manfaat buku ini dapat dirasakan langsung oleh peserta didik. Melalui integrasi AI, siswa memperoleh pengalaman belajar yang lebih personal, adaptif, dan kontekstual. Penelitian menunjukkan bahwa AI mampu meningkatkan pemahaman konseptual siswa sekaligus mengoreksi miskonsepsi (El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, & Al Ibrahim, 2025). Dengan model pembelajaran berbasis riset, siswa tidak hanya memahami konsep secara teoritis, tetapi juga mampu menerapkannya dalam proyek nyata. Manfaat praktis ini menjadikan pengalaman belajar lebih bermakna dan menumbuhkan motivasi intrinsik peserta didik.

Manfaat teoretis berikutnya adalah memperkuat kajian tentang etika pendidikan berbasis AI. Isu integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan teknologi menjadi perhatian serius dalam literatur pendidikan (Alexander, Ma, Dou, Cai, & Huang, 2023). Buku ini memberikan manfaat teoretis dengan menyajikan kerangka integrasi etika digital ke dalam

pembelajaran berbasis inkuiri, sehingga menegaskan bahwa AI tidak hanya instrumen teknis, tetapi juga bagian dari pendidikan karakter ilmiah.



(Gambar 1.24: Peran buku dalam etika pendidikan AI)

Manfaat praktis lain adalah mendukung pemerataan akses pendidikan. Studi di negara berkembang menegaskan bahwa integrasi STEM masih menghadapi kendala infrastruktur (Arefin, Chowdhury, & Nishat, 2025). Buku ini menyajikan strategi penggunaan AI untuk memperluas akses sumber belajar digital, sehingga membantu mengurangi kesenjangan antarwilayah. Manfaat ini sangat relevan bagi sistem pendidikan Indonesia yang masih menghadapi disparitas akses dan kualitas.

Akhirnya, manfaat terbesar dari buku ini adalah menghadirkan sintesis yang menghubungkan teori, praktik, riset, dan kebijakan. Secara teoretis, buku ini memperkuat literatur tentang pembelajaran berbasis inkuiri dan proyek riset dengan dukungan AI. Secara praktis, buku ini memberikan panduan konkret bagi pendidik, peneliti, dan pembuat kebijakan. Dengan demikian, manfaatnya bersifat menyeluruh, baik dalam memperkaya ilmu pendidikan maupun dalam memberikan solusi praktis terhadap tantangan pendidikan abad 21.



(Gambar 1.25: Peran buku dalam pengembangan pendidikan)

1.7 Sistematika Penulisan Buku

Buku ini disusun secara sistematis agar pembaca memperoleh gambaran menyeluruh mengenai konsep, model,

serta implikasi dari AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning. Sistematika penulisan dimulai dengan Bab I yang memuat pendahuluan, meliputi latar belakang, urgensi, permasalahan pendidikan abad 21, kontribusi buku, tujuan penyusunan, manfaat teoretis dan praktis, serta sistematika penulisan. Bab ini menjadi fondasi konseptual yang menjelaskan mengapa buku ini penting ditulis serta posisi kontribusinya terhadap literatur pendidikan global.

Bab II berisi tinjauan teoritis yang mendalam terkait model pembelajaran berbasis inkuiri, proyek riset, dan perkembangan kecerdasan buatan dalam pendidikan. Bagian ini memuat landasan filosofis, kerangka pedagogis, serta hasil penelitian terdahulu yang menegaskan pentingnya integrasi AI dalam pembelajaran berbasis riset. Kajian literatur yang komprehensif di bab ini memperlihatkan kesinambungan antara teori klasik pendidikan dengan inovasi digital.

Bab III membahas perkembangan mutakhir dalam penerapan AI di bidang pendidikan, dengan penekanan pada perannya dalam meningkatkan literasi sains, penalaran ilmiah, dan keterampilan berpikir kritis. Bagian ini juga menyoroti peluang, tantangan, serta implikasi etis dari penggunaan AI, termasuk isu integritas akademik, kerahasiaan, dan keadilan.



(Gambar 1.26: Skema sistematika penulisan buku)

Bab IV merupakan inti dari buku ini, yang menyajikan model konseptual AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning. Sintaks, tahapan, peran pendidik dan peserta didik, serta titik integrasi AI dalam setiap fase pembelajaran diuraikan secara rinci. Model ini dirancang agar mudah direplikasi, diadaptasi, dan dikembangkan sesuai konteks pendidikan yang berbeda. Bab ini juga menampilkan desain kerangka evaluasi yang dapat digunakan untuk mengukur efektivitas implementasi model.

Bab V menyajikan implementasi praktis model melalui studi kasus nasional dan internasional. Bab ini memperlihatkan bagaimana AI digunakan untuk memperkuat pembelajaran berbasis inkuiri di berbagai konteks, mulai dari pendidikan dasar hingga pendidikan tinggi. Studi kasus juga dilengkapi dengan

analisis perbandingan sehingga pembaca dapat memahami perbedaan konteks penerapan.

Bab VI membahas implikasi teoretis, praktis, dan kebijakan dari penerapan model ini. Bagian ini menegaskan bagaimana model dapat memperkuat disiplin ilmu pendidikan, mendukung pengembangan profesional guru, serta memberikan rekomendasi kebijakan pendidikan yang relevan dengan transformasi digital.

Bab VII menyajikan kesimpulan dan rekomendasi. Bagian ini merangkum temuan utama buku, menyajikan arah penelitian lanjutan, serta menawarkan rekomendasi praktis bagi pendidik dan pembuat kebijakan. Kesimpulan disusun untuk menegaskan kontribusi buku ini terhadap pengembangan ilmu pendidikan yang inovatif, adaptif, dan berkelanjutan.



(Gambar 1.27: Roadmap pembelajaran berbasis inkuiri dan AI)

Sebagai tambahan, buku ini juga dilengkapi dengan daftar pustaka yang komprehensif, yang seluruhnya merujuk pada sumber-sumber mutakhir dari jurnal internasional, prosiding, dan buku akademik. Daftar pustaka ini memperkuat kredibilitas ilmiah buku dan menjadi sumber acuan lebih lanjut bagi pembaca yang ingin mendalami topik tertentu.

Lampiran pada bagian akhir menyajikan instrumen asesmen, rubrik evaluasi, serta contoh rancangan pembelajaran berbasis proyek riset dengan dukungan AI. Lampiran ini memberikan nilai tambah praktis sehingga buku tidak hanya bermanfaat secara teoretis, tetapi juga dapat langsung digunakan oleh pendidik dalam konteks kelas.

Dengan sistematika tersebut, buku ini diharapkan mampu menjadi referensi ilmiah yang tidak hanya memperkaya literatur pendidikan, tetapi juga relevan untuk implementasi nyata. Struktur yang runtut dari konseptual hingga aplikatif menjadikan buku ini layak dijadikan rujukan bagi pendidik, peneliti, maupun pembuat kebijakan dalam mengembangkan praktik pembelajaran abad 21.

BAB II. LANDASAN TEORI INQUIRY-BASED LEARNING DAN PROJECT LEARNING

2.1 Konsep Dasar Inquiry-Based Learning

Inquiry-Based Learning (IBL) merupakan pendekatan pedagogis yang berakar pada filosofi konstruktivisme, di mana pengetahuan dipandang sebagai hasil konstruksi aktif peserta didik melalui eksplorasi, pertanyaan, dan investigasi. IBL berfokus pada keterlibatan langsung peserta didik dalam proses penyelidikan ilmiah untuk menumbuhkan pemahaman konseptual yang mendalam, sekaligus melatih keterampilan berpikir kritis. Penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri memperkuat penguasaan keterampilan abad ke-21, termasuk kreativitas, komunikasi, dan kolaborasi (Chu, Reynolds, Tavares, Notari, & Lee, 2017). Oleh karena itu, IBL dianggap sebagai strategi esensial dalam pendidikan modern karena mampu membekali peserta didik dengan kompetensi yang relevan untuk menghadapi dinamika global.

IBL memiliki karakteristik utama berupa keterpusatan pada pertanyaan, penyelidikan berbasis bukti, dan pembelajaran yang bersifat reflektif. Aktivitas IBL dirancang untuk menuntun peserta didik dalam merumuskan pertanyaan, merancang prosedur eksperimen, menganalisis data, dan menyusun kesimpulan. Hal ini menjadikan peserta didik tidak hanya sebagai penerima informasi, tetapi juga sebagai peneliti kecil yang terlibat dalam proses pembentukan pengetahuan.

Penelitian dalam konteks pendidikan sains menegaskan bahwa penerapan IBL dapat meningkatkan keterampilan penalaran ilmiah sekaligus membangun disposisi ilmiah yang lebih kritis (Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, & Korom, 2022). Dengan demikian, konsep dasar IBL bertujuan membangun ekosistem pembelajaran yang otentik, investigatif, dan berbasis riset.

Konsep IBL juga menekankan pada pengembangan scientific reasoning. Kemampuan ini meliputi keterampilan mengontrol variabel, membuat inferensi kausal, serta membangun penjelasan yang dapat diuji secara empiris. Studi yang dilakukan oleh Yanto, Subali, dan Suyanto (2019) menunjukkan bahwa penerapan levels of inquiry dalam pembelajaran sains meningkatkan keterampilan penalaran ilmiah siswa secara signifikan. Pendekatan ini memungkinkan peserta didik bergerak dari inkuiri terarah hingga inkuiri terbuka, sehingga memberikan ruang yang luas untuk membangun pemikiran mandiri. Dengan menekankan proses ini, IBL tidak hanya mendukung pencapaian akademik, tetapi juga melatih pola pikir ilmiah yang penting dalam kehidupan sehari-hari.



(Gambar 2.1: Perjalanan Pembelajaran Berbasis Pertanyaan)

Penerapan IBL secara konsisten terbukti meningkatkan literasi ilmiah peserta didik. Literasi ilmiah tidak hanya mencakup pemahaman konsep sains, tetapi juga kemampuan mengevaluasi bukti, menilai argumen, dan mengaplikasikan pengetahuan pada konteks nyata. Penelitian oleh Lieskovský dan Sunyík (2022) menegaskan bahwa intervensi berbasis inkuiri memiliki dampak positif dalam meningkatkan literasi ilmiah siswa sekolah menengah. Selain itu, studi oleh Cabello, Moreira,

dan Morales (2021) menunjukkan bahwa siswa yang menggunakan penjelasan berbasis gambar dalam IBL memiliki kemampuan lebih baik dalam menghubungkan teori dengan representasi konseptual. Kontribusi ini memperlihatkan bahwa IBL berfungsi sebagai fondasi penting untuk meningkatkan pemahaman dan literasi sains.

IBL juga memberikan kontribusi besar dalam pembentukan keterampilan berpikir kritis. Proses investigasi dalam IBL menuntut peserta didik untuk menganalisis data, mengidentifikasi pola, serta menyusun argumen berbasis bukti. Penelitian oleh Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menegaskan bahwa program berpikir kritis yang dipadukan dengan strategi inkuiri meningkatkan keterampilan analisis calon guru pendidikan. Hal ini menunjukkan bahwa IBL tidak hanya bermanfaat pada level siswa sekolah dasar dan menengah, tetapi juga pada pendidikan tinggi, khususnya dalam membekali calon pendidik dengan keterampilan yang relevan. Dengan demikian, IBL dapat dipandang sebagai pendekatan transformatif yang mempersiapkan peserta didik menghadapi tuntutan kompleks abad ke-21.



(Gambar 2.2: Meningkatkan keterampilan berpikir kritis)

Selain mengembangkan kemampuan berpikir kritis, IBL juga berperan dalam menumbuhkan keterampilan kolaboratif. Aktivitas penyelidikan yang dilakukan secara kelompok menuntut peserta didik untuk berdiskusi, berbagi data, dan membangun konsensus atas temuan yang diperoleh. Kajian yang dilakukan oleh Chu et al. (2017) memperlihatkan bahwa IBL secara signifikan memperkuat kolaborasi, komunikasi, dan keterampilan sosial. Dalam konteks pendidikan modern, kemampuan ini menjadi sangat penting karena dunia kerja dan riset menuntut kolaborasi lintas disiplin. Oleh karena itu, penerapan IBL dapat memperkuat keterampilan interpersonal sekaligus membentuk budaya ilmiah di ruang kelas.

Dalam konteks literasi digital, IBL dapat menjadi media strategis untuk menanamkan kemampuan menyeleksi, menganalisis, dan memanfaatkan informasi digital. Penelitian

yang dilakukan oleh Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menunjukkan bahwa kapasitas berpikir analitis tidak selalu mengurangi kepercayaan pada informasi non-ilmiah, sehingga keterampilan berpikir kritis perlu dilatih secara eksplisit. IBL dengan dukungan AI dapat membantu mengarahkan peserta didik dalam menilai validitas data, membandingkan sumber, serta mengidentifikasi bias dalam informasi digital. Dengan demikian, manfaat IBL tidak hanya terbatas pada penguatan literasi sains, tetapi juga literasi digital yang semakin penting di era modern.



(Gambar 2.3: Integrasi literasi digital dalam meningkatkan pembelajaran berbasis pertanyaan)

IBL juga memiliki kontribusi penting dalam mengembangkan keterampilan pemecahan masalah kompleks. Melalui proses bertanya, merumuskan hipotesis, dan melakukan

investigasi, peserta didik dilatih menghadapi persoalan yang tidak memiliki jawaban tunggal. Penelitian menunjukkan bahwa pendekatan berbasis inkuiri memungkinkan siswa mengembangkan strategi pemecahan masalah yang lebih fleksibel dibandingkan dengan pembelajaran tradisional (Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, & Pandiangan, 2018). Lebih jauh, penerapan IBL dengan pendekatan berbasis bukti memperlihatkan bahwa siswa lebih mampu menghubungkan data eksperimen dengan teori ilmiah, sehingga menghasilkan pemecahan masalah yang lebih akurat. Integrasi AI dalam konteks ini dapat memperkuat pengalaman belajar dengan memberikan simulasi berbasis skenario, memfasilitasi eksplorasi data, dan mempercepat analisis hasil. Hal ini menegaskan bahwa IBL relevan untuk menumbuhkan keterampilan problem solving yang menjadi tuntutan utama abad ke-21.



(Gambar 2.4 Proses Pembelajaran Berbasis Inkuiri)

Selain pemecahan masalah, IBL juga mendorong peningkatan metacognitive skills. Proses investigasi yang panjang menuntut peserta didik untuk merencanakan strategi belajar, memantau kemajuan, serta mengevaluasi hasil yang diperoleh. Kajian menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri yang terstruktur memberikan dampak positif terhadap peningkatan keterampilan metakognitif siswa, khususnya dalam kemampuan merefleksikan proses berpikir (Pasigon, 2024). Metakognisi ini berperan penting dalam pengembangan berpikir kritis karena memungkinkan peserta didik mengatur strategi kognitif secara mandiri. AI berperan signifikan dengan menyediakan learning analytics yang menampilkan progres belajar peserta didik secara real time, sehingga refleksi dapat dilakukan dengan data yang lebih obyektif. Dengan demikian, IBL berkontribusi besar dalam mengintegrasikan kognisi, metakognisi, dan dukungan teknologi.

IBL juga memfasilitasi pembentukan sikap ilmiah yang konsisten. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan model inkuiri berbasis neurosains dapat membentuk disposisi ilmiah seperti rasa ingin tahu, ketekunan, dan keterbukaan terhadap bukti (Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, & Liliawati, 2021). Sikap ilmiah ini menjadi fondasi penting bagi pengembangan pendidikan yang menekankan pada karakter berbasis riset. Integrasi AI memperluas potensi tersebut dengan menghadirkan simulasi interaktif yang menumbuhkan rasa ingin tahu dan keterlibatan peserta didik. Dengan demikian, IBL tidak hanya

membentuk keterampilan kognitif, tetapi juga sikap ilmiah yang berorientasi pada etika, integritas, dan kejujuran akademik.



(Gambar 2.5: Proses pembentukan sikap ilmiah)

Konsep dasar IBL juga berperan penting dalam mempersiapkan peserta didik menghadapi tantangan global. Perubahan iklim, krisis energi, dan dinamika sosial menuntut generasi muda memiliki keterampilan berpikir kritis serta kesadaran keberlanjutan. Studi menegaskan bahwa proyek riset berbasis inkuiri dengan penekanan pada isu keberlanjutan meningkatkan kesadaran siswa terhadap dampak jangka panjang keputusan ilmiah (Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025). Integrasi AI memperkaya dimensi ini melalui pemodelan prediktif, analisis big data, dan simulasi lingkungan. Dengan demikian, IBL berkontribusi pada pengembangan pendidikan

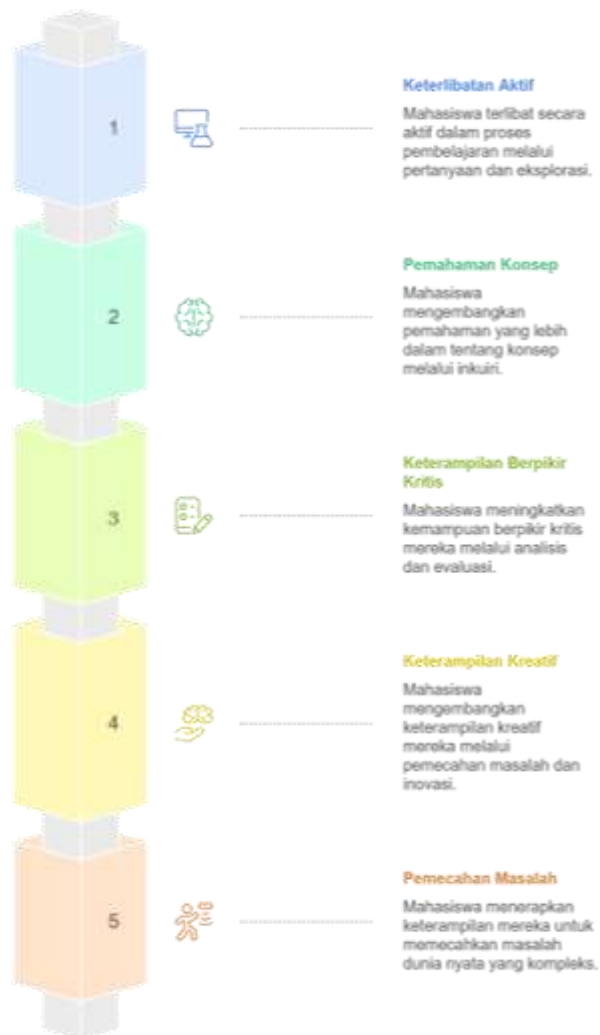
berkelanjutan yang menghubungkan aspek ilmiah, sosial, dan lingkungan.



(Gambar 2.6: Siklus Integrasi Pembelajaran Berbasis Inkuiri)

IBL tidak hanya relevan pada jenjang pendidikan dasar dan menengah, tetapi juga efektif diterapkan di pendidikan tinggi. Studi oleh Isenhour (2025) menunjukkan bahwa proyek riset mandiri berbasis inkuiri meningkatkan keterlibatan akademik mahasiswa serta memperkuat keterampilan scientific reasoning. Mahasiswa yang terbiasa dengan pola investigatif memiliki kapasitas lebih tinggi dalam mengelola riset, mengembangkan argumen, serta menyusun publikasi ilmiah. Integrasi AI dalam konteks pendidikan tinggi memperkuat peran IBL dengan menyediakan data penelitian digital, analitik statistik otomatis, serta platform kolaborasi daring yang mempercepat produksi pengetahuan. Dengan demikian, IBL mampu menjadi

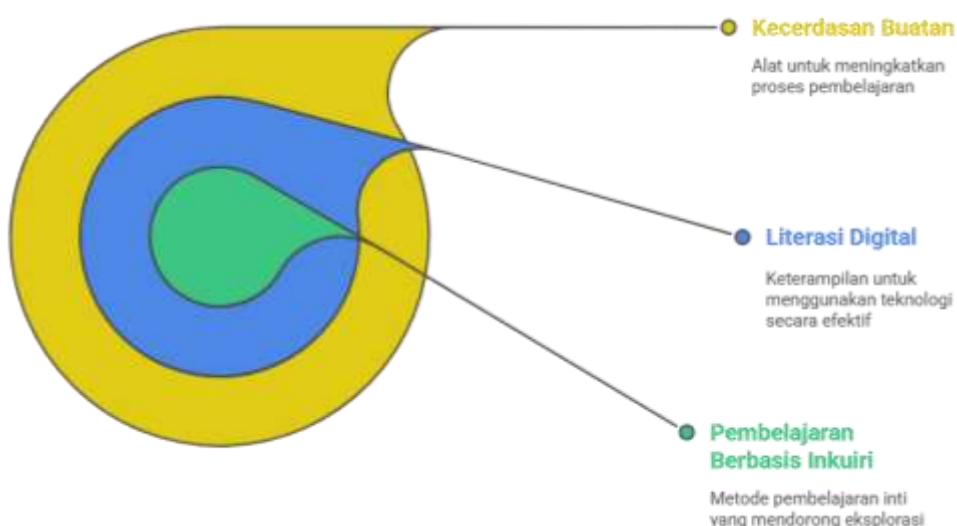
kerangka pedagogis utama dalam pendidikan tinggi berbasis riset.



(Gambar 2.7: Penerapan Inquiry-Based Learning di pendidikan tinggi)

Konsep IBL juga semakin relevan dengan berkembangnya literasi digital di era modern. Penelitian yang dilakukan oleh El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menunjukkan

bahwa generative AI dapat membantu siswa memahami konsep sains sekaligus mengoreksi miskonsepsi yang sering terjadi. Dalam kerangka IBL, AI memperluas akses ke data dan sumber belajar, sehingga peserta didik dapat berlatih mengevaluasi validitas informasi digital. Hal ini memperlihatkan bahwa integrasi IBL dengan AI tidak hanya meningkatkan literasi ilmiah, tetapi juga literasi digital yang menjadi syarat esensial abad ke-21.



(Gambar 2.8: Integrasi Inquiry-Based Learning)

Akhirnya, konsep dasar IBL berkontribusi besar pada pembangunan kerangka pendidikan yang lebih humanis, investigatif, dan berbasis bukti. Kajian mutakhir menegaskan bahwa inkuiri yang dipadukan dengan teknologi digital mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih inklusif, adaptif, dan kontekstual (Tlili et al., 2024). Buku ini menguraikan

bagaimana prinsip dasar IBL dapat diperkaya dengan AI untuk membentuk generasi pembelajar yang kritis, kreatif, kolaboratif, dan bertanggung jawab. Dengan kerangka ini, IBL diposisikan sebagai pilar utama dalam desain pembelajaran abad ke-21 yang menghubungkan teori, praktik, dan teknologi secara utuh.



(Gambar 2.9: Siklus Pembelajaran Berbasis Inkuiri)

2.1.1 Definisi dan Karakteristik

Inquiry-Based Learning (IBL) didefinisikan sebagai suatu pendekatan pedagogis yang menempatkan pertanyaan, eksplorasi, dan investigasi sebagai inti dari proses pembelajaran. Berbeda dari model tradisional yang lebih menekankan pada transfer pengetahuan satu arah, IBL mendorong peserta didik untuk aktif mencari, menguji, dan membangun pemahaman melalui pengalaman langsung. Menurut Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017), IBL merupakan landasan strategis untuk menumbuhkan keterampilan abad ke-21 karena menekankan kolaborasi, kreativitas, komunikasi, dan berpikir kritis. Definisi ini menegaskan bahwa IBL bukan hanya sebuah metode, melainkan paradigma pembelajaran yang menempatkan peserta didik sebagai pusat pembentukan pengetahuan.

IBL memiliki karakteristik utama berupa student-centered learning, penggunaan bukti empiris, serta keterlibatan aktif dalam proses penyelidikan. Dalam praktiknya, IBL mengarahkan peserta didik untuk merumuskan pertanyaan, mengembangkan hipotesis, mengumpulkan data, dan menyusun kesimpulan yang dapat diuji. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri mendorong kemampuan siswa untuk mengontrol variabel, melakukan eksperimen, serta mengevaluasi data secara kritis. Karakteristik ini menjadikan IBL efektif dalam melatih penalaran ilmiah yang sangat dibutuhkan pada era global.

Salah satu karakteristik penting dari IBL adalah adanya levels of inquiry yang progresif, mulai dari inkuiri konfirmasi hingga inkuiri terbuka. Model berjenjang ini memungkinkan peserta didik mengalami transisi dari penerima informasi menjadi peneliti mandiri yang mampu merancang penyelidikan kompleks. Yanto, Subali, dan Suyanto (2019) menunjukkan bahwa model ini secara konsisten meningkatkan keterampilan berpikir ilmiah, terutama pada aspek pengendalian variabel dan generalisasi hasil. Dengan karakteristik bertahap, IBL memberikan fleksibilitas dalam penerapan di berbagai jenjang pendidikan, dari sekolah dasar hingga perguruan tinggi.



(Gambar 2.10: Levels of Inquiry dalam model Inquiry-Based Learning)

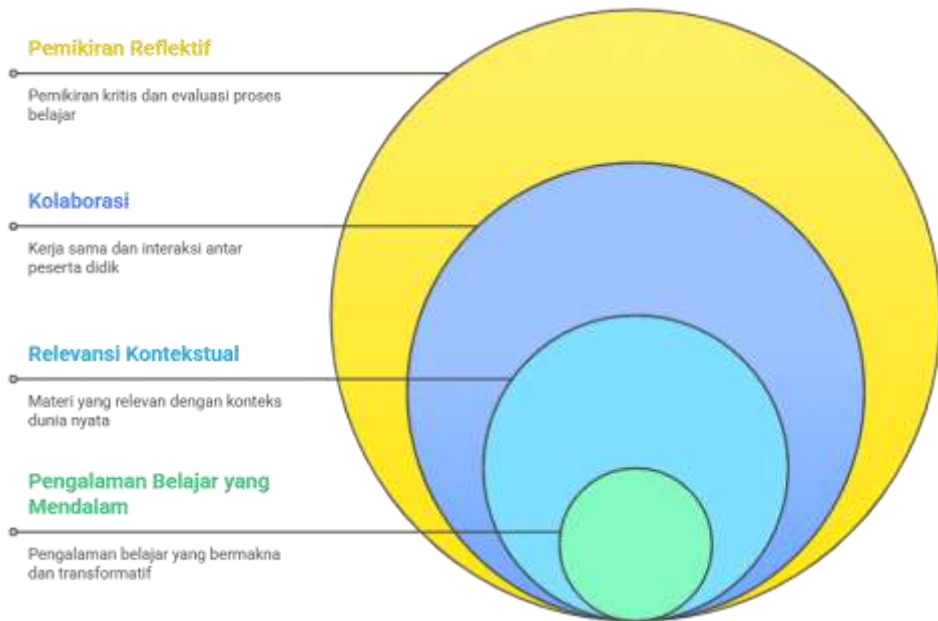
Definisi IBL juga mencakup dimensi reflektif, di mana peserta didik tidak hanya memperoleh pengetahuan, tetapi juga mengembangkan kemampuan untuk mengevaluasi proses

berpikir mereka sendiri. Proses reflektif ini melatih metakognisi, yaitu kesadaran individu terhadap strategi berpikir dan belajar yang digunakan. Penelitian oleh Pasigon (2024) menegaskan bahwa penerapan IBL mendorong penguatan keterampilan metakognitif yang berperan penting dalam membangun otonomi belajar. Karakteristik reflektif ini menjadi pembeda utama antara IBL dan pendekatan tradisional yang cenderung menekankan pada hasil, bukan proses.

Selain itu, karakteristik kolaboratif menjadi ciri khas IBL. Aktivitas inkuiri biasanya dilakukan dalam kelompok kecil, sehingga peserta didik dilatih untuk berdiskusi, membandingkan argumen, serta menyusun kesimpulan kolektif. Chu et al. (2017) menemukan bahwa IBL memperkuat keterampilan komunikasi dan kolaborasi yang sangat penting dalam dunia kerja modern. Kolaborasi ini juga memperkaya kualitas penyelidikan karena melibatkan beragam perspektif dalam merumuskan solusi atas suatu permasalahan. Dengan demikian, karakteristik kolaboratif menjadikan IBL sebagai strategi pembelajaran yang relevan dengan kebutuhan lintas disiplin.

IBL juga ditandai dengan fokus pada pengalaman autentik. Peserta didik dihadapkan pada masalah nyata yang memerlukan penyelidikan mendalam dan solusi berbasis bukti. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan siswa dalam menghubungkan data eksperimen

dengan teori ilmiah. Dengan menghadirkan konteks autentik, IBL menjadikan pembelajaran lebih bermakna dan relevan dengan kehidupan nyata. Karakteristik ini memperkuat tujuan pendidikan abad ke-21, yaitu membekali peserta didik dengan keterampilan problem solving yang kontekstual.



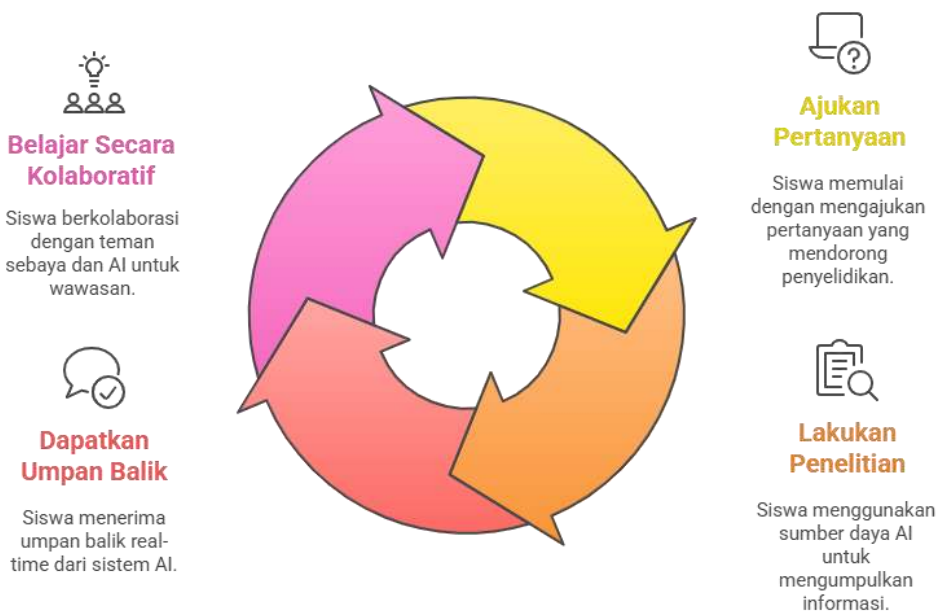
(Gambar 2.11: Karakteristik utama Inquiry-Based Learning)

IBL juga memiliki karakteristik etis yang penting. Setiap proses inkuiri menuntut integritas dalam pengumpulan data, interpretasi hasil, dan penyusunan laporan. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa pembelajaran inkuiri yang menyoroti aspek etika mampu meningkatkan kesadaran peserta didik terhadap isu integritas akademik, keamanan siber, dan keadilan. Dengan demikian, karakteristik IBL tidak hanya

berfokus pada kognitif, tetapi juga pada dimensi moral dan sosial yang relevan dengan praktik riset ilmiah.

Karakteristik adaptif juga menjadi ciri IBL, di mana pendekatan ini dapat disesuaikan dengan konteks budaya, sosial, dan teknologi yang beragam. Penelitian di Bangladesh menunjukkan bahwa integrasi STEM melalui pendekatan inkuiri harus memperhatikan kondisi lokal agar dapat berhasil (Arefin, Chowdhury, & Nishat, 2025). Fleksibilitas ini menjadikan IBL relevan diterapkan pada berbagai setting pendidikan, baik di negara maju maupun berkembang. Karakteristik adaptif inilah yang menjadikan IBL tahan lama dan universal dalam berbagai konteks pembelajaran.

Definisi IBL semakin diperkuat dengan kehadiran AI, yang memperluas karakteristik klasik menjadi lebih modern. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menunjukkan bahwa AI generatif mampu meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus mengoreksi miskonsepsi. Karakteristik IBL dalam konteks modern adalah kolaboratif, reflektif, berbasis bukti, dan kini diperkuat oleh AI-enabled inquiry. Dengan demikian, IBL tidak hanya relevan secara historis, tetapi juga visioner dalam menghadapi era digital.



(Gambar 2.12: Integrasi karakteristik Inquiry-Based Learning dengan dukungan AI)

Karakteristik IBL selanjutnya adalah berbasis pada pengembangan scientific reasoning yang sistematis. Pendekatan inkuiri menuntut peserta didik untuk menguji hipotesis melalui prosedur eksperimen yang dapat dipertanggungjawabkan. Penelitian oleh Orhan dan Demirhan (2025) menegaskan bahwa adaptasi instrumen penalaran ilmiah pada konteks sekolah dasar dan menengah memperlihatkan efektivitas tinggi ketika dipadukan dengan aktivitas inkuiri. Hal ini menunjukkan bahwa karakteristik utama IBL adalah melatih siswa untuk berpikir secara logis, konsisten, dan berbasis data. Dengan demikian, IBL berperan besar dalam membentuk kebiasaan berpikir ilmiah yang relevan dengan praktik riset nyata.

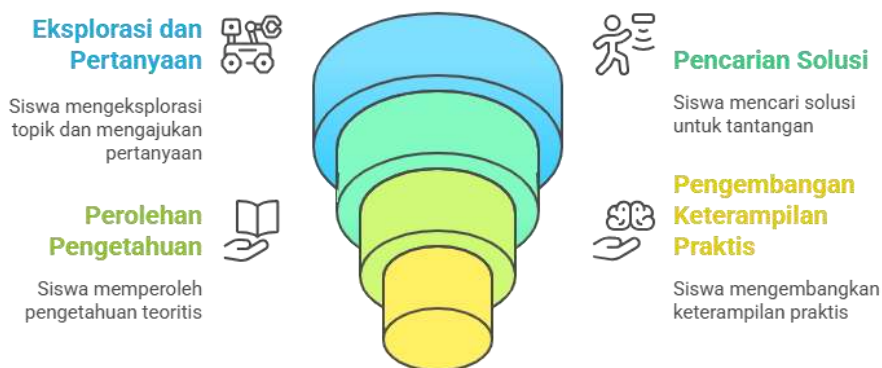


(Gambar 2.13: Meningkatkan scientific reasoning)

IBL juga didefinisikan sebagai pendekatan yang berfokus pada siklus pembelajaran yang berulang (iterative learning cycle). Setiap tahap inkuiri, mulai dari pertanyaan hingga kesimpulan, seringkali menghasilkan pertanyaan baru yang memicu penyelidikan lanjutan. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menjelaskan bahwa siklus reflektif ini memperkuat keterampilan analitis, sekaligus mencegah penerimaan informasi tanpa evaluasi kritis. Karakteristik siklus yang berulang ini menjadikan IBL sebagai pendekatan yang dinamis dan berkelanjutan, di mana pembelajaran tidak berhenti pada satu

jawaban, tetapi terus berkembang mengikuti dinamika pertanyaan baru yang muncul.

Karakteristik penting lainnya adalah berbasis pada pengalaman kontekstual. Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menekankan bahwa program berbasis berpikir kritis yang memanfaatkan IBL memperlihatkan efektivitas tinggi ketika dihubungkan dengan masalah nyata. IBL mengajarkan bahwa pengetahuan bukan sekadar teori, tetapi sesuatu yang harus diuji melalui pengalaman kontekstual. Dengan karakteristik ini, IBL menjadikan kelas sebagai laboratorium pemecahan masalah yang berkaitan erat dengan kehidupan sehari-hari maupun isu global.



(Gambar 2.14: Mengembangkan Pemikiran Kritis Melalui Pembelajaran Berbasis Inkuiri)

IBL juga memiliki karakteristik partisipatif yang kuat. Proses inkuiri menuntut keterlibatan penuh peserta didik, baik secara individu maupun kolaboratif. Penelitian menunjukkan bahwa aktivitas IBL meningkatkan student engagement yang

lebih tinggi dibandingkan dengan metode tradisional (Rapi, Sujanem, Yasmini, & Setemen, 2025). Partisipasi aktif ini menjadi kunci dalam membangun kepemilikan belajar, di mana peserta didik merasa bahwa mereka adalah bagian dari proses penemuan pengetahuan. Karakteristik ini memperkuat motivasi intrinsik sekaligus membentuk budaya belajar yang lebih berorientasi pada riset.

IBL juga ditandai dengan karakteristik fleksibilitas metodologis. Dalam penerapannya, IBL dapat dikombinasikan dengan pendekatan lain seperti project-based learning atau problem-based learning. Studi oleh Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) memperlihatkan bahwa kombinasi PBL dengan inkuiri memberikan hasil optimal dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan keberlanjutan. Karakteristik ini menegaskan bahwa IBL tidak bersifat kaku, melainkan terbuka untuk berintegrasi dengan pendekatan pedagogis lain sesuai kebutuhan.



(Gambar 2.15: Fleksibilitas Inquiry-Based Learning)

Definisi IBL juga mencakup dimensi keberlanjutan jangka panjang. Dengan membiasakan peserta didik untuk melakukan investigasi berbasis data, IBL membekali mereka dengan keterampilan yang dapat diterapkan sepanjang hayat. Penelitian menegaskan bahwa keterampilan inkuiri yang diperoleh melalui pembelajaran sistematis memiliki dampak jangka panjang pada kemampuan berpikir kritis mahasiswa dan profesional (Isenhour, 2025). Karakteristik ini memperlihatkan bahwa IBL bukan hanya metode pengajaran, tetapi investasi pendidikan yang relevan untuk masa depan.

Karakteristik terakhir dari IBL adalah integrasinya dengan teknologi digital, khususnya kecerdasan buatan. Studi oleh El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran inkuiri mampu meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus mengurangi miskonsepsi. AI memperkaya karakteristik klasik IBL dengan menghadirkan simulasi interaktif, analitik berbasis big data, serta rekomendasi adaptif. Dengan demikian, definisi IBL dalam konteks abad ke-21 tidak dapat dilepaskan dari pemanfaatan teknologi digital sebagai penguat proses investigatif.



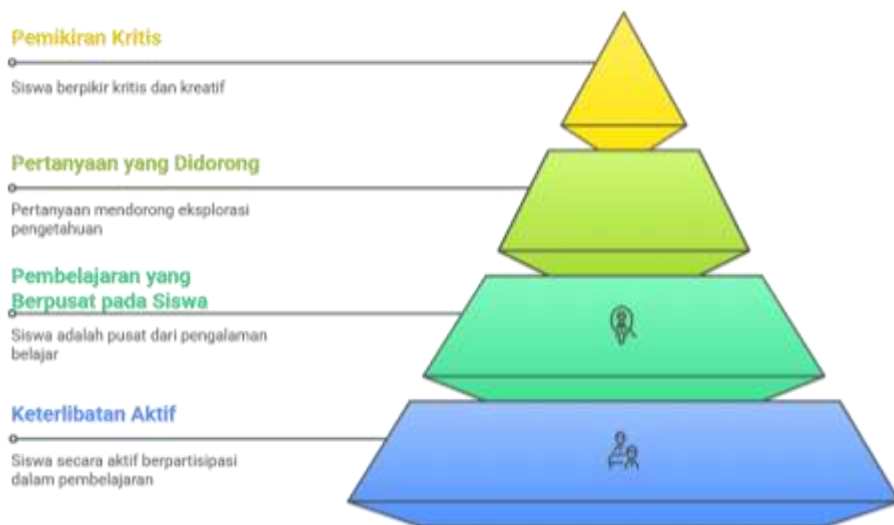
(Gambar 2.16: Karakteristik Inquiry-Based Learning modern dengan dukungan AI)

2.1.2 Prinsip-prinsip Utama

Inquiry-Based Learning (IBL) berlandaskan pada sejumlah prinsip utama yang menjadikannya sebagai pendekatan pedagogis transformatif. Prinsip pertama adalah keterpusatan pada peserta didik (learner-centeredness). Dalam IBL, siswa diposisikan sebagai agen aktif yang membangun pengetahuan melalui pertanyaan, investigasi, dan refleksi. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menegaskan bahwa pergeseran ini sejalan dengan kebutuhan abad ke-21, di mana pembelajaran tidak lagi berorientasi pada hafalan, melainkan pada konstruksi makna. Prinsip ini menekankan bahwa peran

pendidik adalah sebagai fasilitator, bukan sekadar penyampai informasi, sehingga proses belajar menjadi lebih partisipatif.

Prinsip kedua adalah berbasis pada pertanyaan (question-driven learning). Pertanyaan dalam IBL berfungsi sebagai pemicu eksplorasi yang mengarahkan siswa untuk menggali fenomena lebih dalam. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menunjukkan bahwa pertanyaan investigatif melatih kemampuan mengontrol variabel, merumuskan hipotesis, dan membangun argumen. Dengan demikian, prinsip ini memastikan bahwa pembelajaran selalu dimulai dari rasa ingin tahu yang autentik, bukan dari informasi yang diberikan begitu saja.



(Gambar 2.17: Piramida Pembelajaran Berbasis Inkuiri)

Prinsip ketiga adalah berbasis bukti (evidence-based learning). IBL mengajarkan bahwa setiap kesimpulan harus didukung oleh data empiris yang valid. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menemukan bahwa IBL meningkatkan keterampilan siswa dalam menghubungkan data eksperimen dengan teori ilmiah. Prinsip ini membentuk disposisi ilmiah yang menekankan pentingnya objektivitas, akurasi, dan transparansi dalam penyelidikan. Dengan mengintegrasikan bukti dalam setiap langkah, IBL melatih siswa untuk mengembangkan pola pikir ilmiah yang kritis.

Prinsip keempat adalah reflektif (reflective thinking). Proses refleksi dalam IBL mendorong siswa untuk meninjau kembali strategi, mengidentifikasi kesalahan, dan mengevaluasi hasil. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi merupakan aspek penting untuk mengembangkan keterampilan metakognitif. Melalui refleksi, siswa belajar memahami proses berpikir mereka sendiri, yang pada gilirannya memperkuat kemampuan untuk belajar secara mandiri. Refleksi juga membantu menginternalisasi pengetahuan sehingga lebih bermakna.

Prinsip kelima adalah kolaboratif (collaborative learning). Dalam IBL, investigasi biasanya dilakukan secara kelompok agar peserta didik dapat saling bertukar ide, mengkritisi argumen, dan menyusun kesimpulan kolektif. Chu et al. (2017) menegaskan bahwa kolaborasi memperkuat keterampilan komunikasi sekaligus membangun pemahaman yang lebih

dalam melalui perspektif yang beragam. Prinsip ini relevan dengan tuntutan dunia kerja modern yang menekankan kerja tim lintas disiplin.



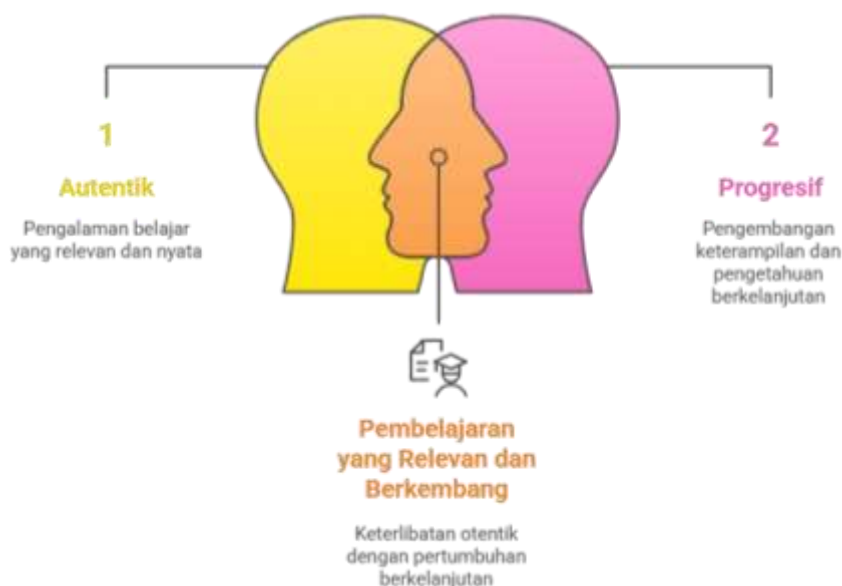
(Gambar 2.18: Prinsip IBL – evidence-based, reflective, collaborative)

Prinsip keenam adalah autentik (authentic learning). IBL berfokus pada pemecahan masalah nyata yang relevan dengan kehidupan siswa. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menjelaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan fokus keberlanjutan meningkatkan kesadaran siswa terhadap isu lingkungan dan sosial. Prinsip autentik memastikan bahwa pengetahuan tidak berhenti pada tataran teori, melainkan terhubung langsung dengan realitas yang dihadapi.

Prinsip ketujuh adalah progresif (progressive inquiry). Dalam IBL, siswa dipandu melewati tahapan inkuiri mulai dari yang sederhana hingga kompleks. Yanto, Subali, dan Suyanto

(2019) menemukan bahwa levels of inquiry meningkatkan keterampilan ilmiah secara bertahap, dari inkuiri konfirmasi hingga inkuiri terbuka. Prinsip ini menjamin pembelajaran lebih terstruktur, tanpa mengurangi kesempatan siswa untuk berkembang mandiri.

Prinsip kedelapan adalah adaptif (adaptive learning). Setiap peserta didik memiliki kebutuhan dan gaya belajar yang berbeda, sehingga IBL harus dapat menyesuaikan strategi sesuai konteks. Arefin, Chowdhury, dan Nishat (2025) menegaskan bahwa integrasi STEM dengan pendekatan inkuiri harus mempertimbangkan kondisi lokal agar lebih efektif. Kehadiran AI memperkuat prinsip adaptif ini melalui learning analytics yang mampu memberikan umpan balik personal.

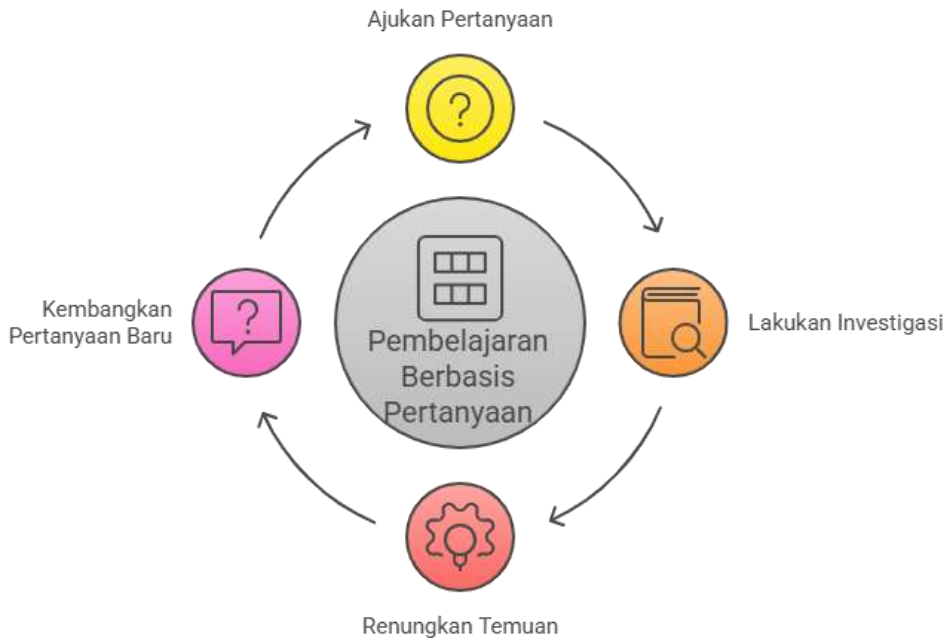


(Gambar 2.19: Sinergi Prinsip IBL untuk Pembelajaran yang Efektif)

Prinsip kesembilan adalah partisipatif (participatory engagement). IBL menuntut keterlibatan penuh siswa dalam setiap tahap pembelajaran, dari merumuskan pertanyaan hingga menyimpulkan hasil. Rapi, Sujanem, Yasmini, dan Setemen (2025) menunjukkan bahwa IBL meningkatkan partisipasi aktif sekaligus memperkuat kepemilikan belajar. Prinsip ini penting untuk menumbuhkan motivasi intrinsik siswa.

Prinsip kesepuluh adalah kontekstual (contextual learning). Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menegaskan bahwa keterampilan kritis lebih mudah berkembang jika pembelajaran dikaitkan dengan pengalaman nyata. Konteks menjadikan pembelajaran lebih bermakna dan memungkinkan siswa untuk melihat relevansi langsung antara teori dan praktik.

Prinsip kesebelas adalah siklikal (cyclical learning). Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menekankan bahwa siklus pertanyaan-penyelidikan-refleksi dalam IBL melahirkan pertanyaan baru yang memicu pembelajaran berkelanjutan. Prinsip ini memastikan bahwa belajar adalah proses yang tidak pernah berakhir, melainkan berkembang seiring munculnya masalah baru.

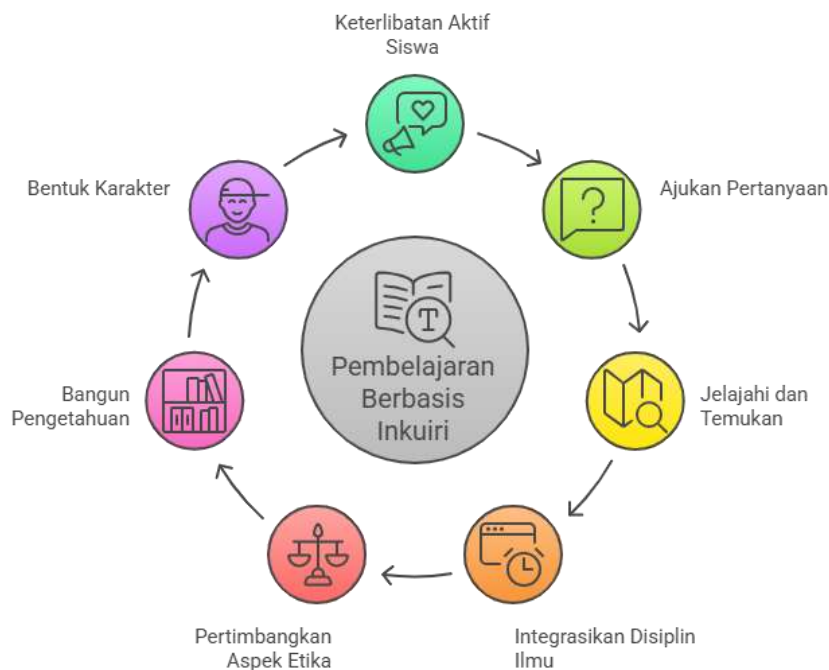


(Gambar 2.20: Siklus Pembelajaran Berbasis Inquiry)

Prinsip keduabelas adalah integratif (integrative learning). IBL memungkinkan keterhubungan lintas disiplin, misalnya melalui integrasi STEM/STEAM. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menegaskan bahwa pendekatan inkuiri efektif membangun kompetensi interdisipliner sejak pendidikan anak usia dini. Prinsip ini memperlihatkan bahwa IBL bukan hanya tentang sains, melainkan dapat diaplikasikan pada bidang lain seperti literasi, seni, dan teknologi.

Prinsip ketigabelas adalah etis (ethical inquiry). Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa IBL dapat menjadi wahana untuk menanamkan integritas akademik dan kesadaran etis dalam penggunaan teknologi. Dengan integrasi

AI, prinsip etis semakin penting agar siswa tidak hanya belajar menggunakan teknologi, tetapi juga memahami tanggung jawab moral dalam proses riset.



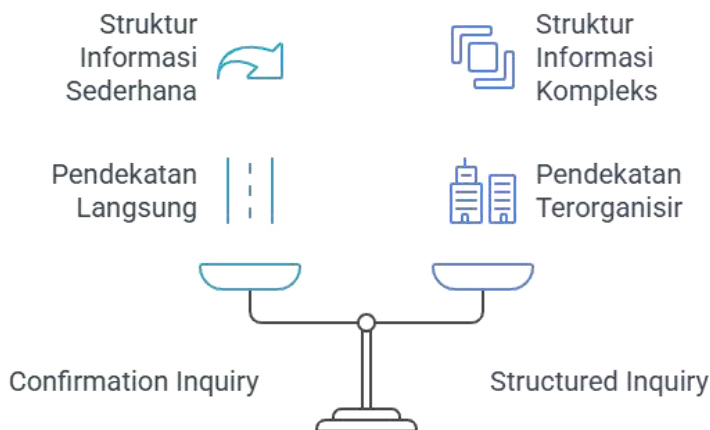
(Gambar 2.21: Siklus Pembelajaran Berbasis Inkuiri)

2.1.3 Sintaks Levels of Inquiry

Sintaks levels of inquiry berfungsi sebagai kerangka pedagogis yang menuntun peserta didik dari tahap belajar terarah hingga mampu melakukan penelitian mandiri. Pada level paling awal, yaitu confirmation inquiry, siswa diberikan prosedur eksperimen yang lengkap untuk memverifikasi suatu konsep atau hukum ilmiah yang sudah diketahui. Model ini memberikan landasan awal agar siswa memahami hubungan antara teori dan data empiris. Yanto, Subali, dan Suyanto (2019) menegaskan

bahwa level konfirmasi efektif memperkuat keterampilan dasar ilmiah seperti observasi, pengukuran, dan pencatatan data. Sintaks ini sesuai untuk peserta didik pemula yang masih membutuhkan arahan penuh sebelum beranjak ke level investigasi yang lebih kompleks.

Level berikutnya adalah structured inquiry, di mana siswa diberikan masalah dan prosedur, namun diminta menganalisis hasil secara mandiri. Perbedaan utama dengan confirmation inquiry terletak pada tanggung jawab siswa dalam menginterpretasikan data dan menarik kesimpulan. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menemukan bahwa level ini meningkatkan keterampilan kontrol variabel dan kemampuan deduktif. Sintaks structured inquiry menekankan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri bukan hanya mengulang prosedur, melainkan mengembangkan penalaran analitis yang berbasis bukti.



(Gambar 2.22: Perbedaan sintaks Confirmation Inquiry dan Structured Inquiry)

Sintaks ketiga adalah guided inquiry, di mana guru hanya memberikan pertanyaan atau masalah, sedangkan perencanaan prosedur eksperimen disusun oleh siswa. Pendekatan ini mendorong kemandirian intelektual lebih tinggi karena siswa terlibat dalam merancang langkah-langkah investigasi. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menunjukkan bahwa penerapan inkuiri terbimbing meningkatkan keterampilan argumentasi ilmiah karena siswa harus mempertanggungjawabkan desain percobaan mereka. Sintaks ini menjadi jembatan menuju pembelajaran riset yang lebih kompleks.

Pada level tertinggi, open inquiry, siswa diberikan kebebasan penuh untuk merumuskan masalah, merancang prosedur, mengumpulkan data, hingga menyusun kesimpulan. Tahap ini mencerminkan praktik penelitian ilmiah sebenarnya. Isenhour (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis inkuiri terbuka memperkuat keterampilan berpikir kritis mahasiswa, khususnya dalam menilai validitas data dan menyusun laporan akademik. Sintaks open inquiry menuntut integrasi keterampilan kognitif, metakognitif, dan afektif, sehingga membentuk profil pembelajar mandiri yang siap menghadapi tantangan abad ke-21.

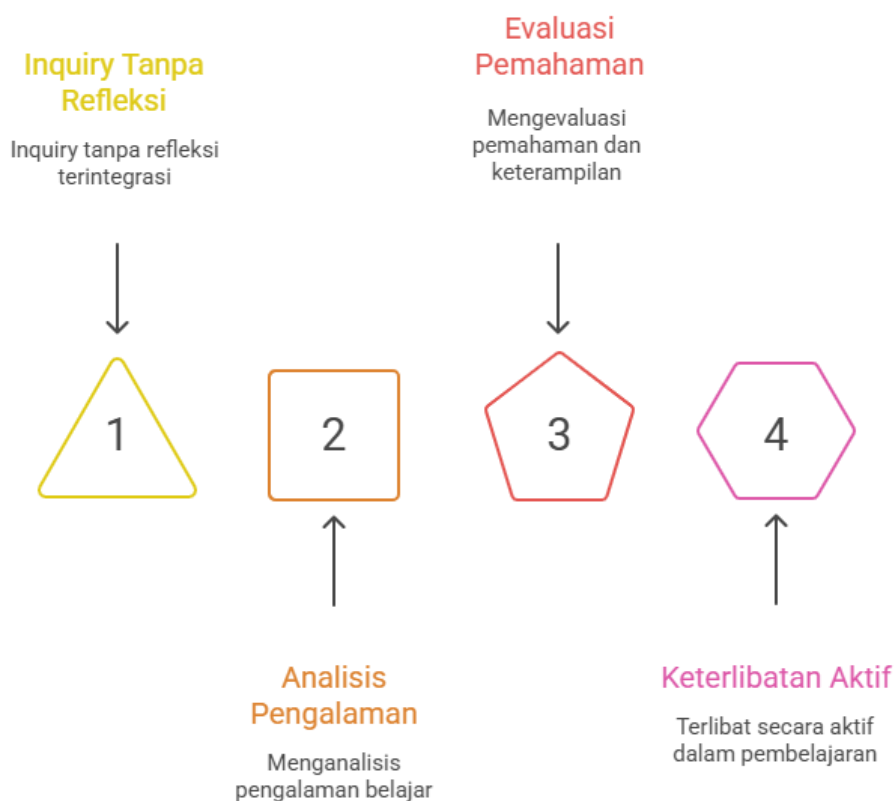


(Gambar 2.23: Hierarki Tingkat Penyelidikan)

Sintaks levels of inquiry bersifat progresif, di mana setiap level berfungsi sebagai fondasi untuk level berikutnya. Yanto et al. (2019) menegaskan bahwa transisi berjenjang ini memperkuat penalaran ilmiah secara konsisten, karena siswa dibimbing dari aktivitas terstruktur menuju investigasi mandiri. Prinsip progresif ini membedakan IBL dari model pembelajaran tradisional yang cenderung seragam pada semua siswa. Dengan progresivitas ini, sintaks levels of inquiry memastikan bahwa pembelajaran dapat diadaptasi sesuai kesiapan dan perkembangan kognitif peserta didik.

Sintaks juga menekankan aspek refleksi di setiap level. Pada tahap konfirmasi, refleksi difokuskan pada akurasi prosedur. Pada tahap terstruktur, refleksi diarahkan pada interpretasi data. Pada inkuiri terbimbing, refleksi mencakup

justifikasi rancangan eksperimen. Sedangkan pada inkuiri terbuka, refleksi meluas ke pertimbangan etika, validitas data, dan implikasi hasil penelitian. Pasigon (2024) menunjukkan bahwa refleksi berlapis ini berkontribusi pada peningkatan keterampilan metakognitif. Dengan demikian, refleksi bukan pelengkap, melainkan bagian integral dari sintaks levels of inquiry.



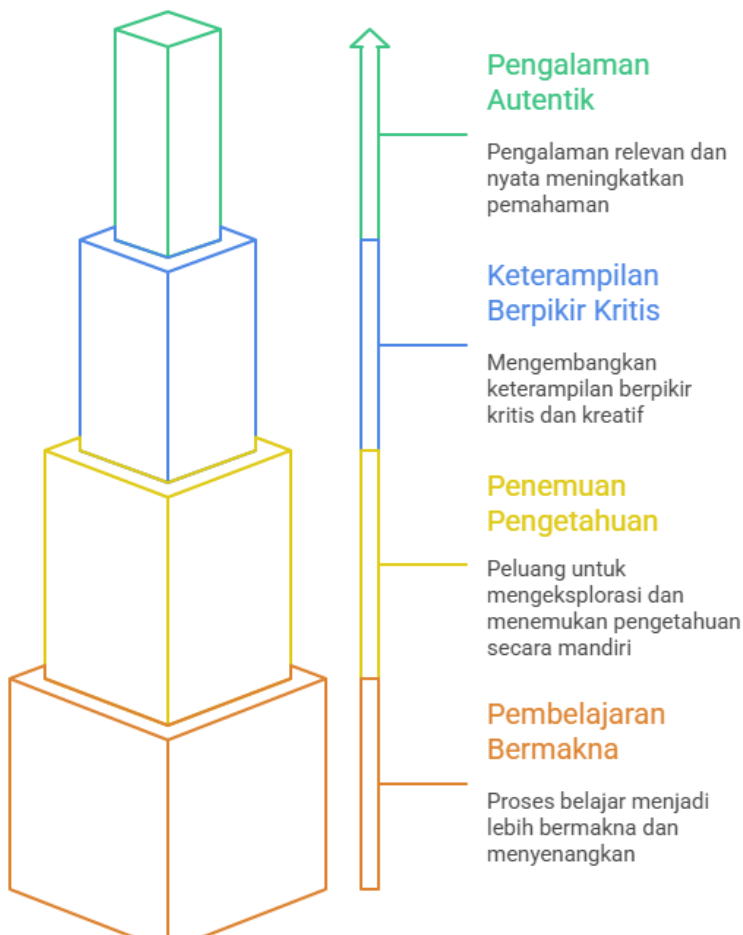
(Gambar 2.24: Integrasi refleksi dalam setiap tahapan Levels of Inquiry)

Setiap level juga mengandung peran berbeda bagi guru. Dalam confirmation inquiry, guru berperan sebagai penyedia prosedur dan fasilitator pemahaman konsep. Pada structured inquiry, guru berfungsi sebagai pemandu analisis. Pada guided inquiry, guru menjadi konsultan metodologi. Sedangkan pada open inquiry, guru berperan sebagai mitra diskusi kritis. Chu et al. (2017) menekankan bahwa fleksibilitas peran guru ini sangat penting untuk memastikan keberhasilan IBL. Dengan demikian, sintaks tidak hanya memandu siswa, tetapi juga mendefinisikan peran guru dalam menciptakan ekosistem pembelajaran investigatif.

Sintaks levels of inquiry juga relevan dalam mengembangkan keterampilan kolaboratif. Aktivitas konfirmasi dapat dilakukan secara individu, tetapi structured dan guided inquiry lebih efektif dalam kelompok kecil untuk melatih komunikasi dan argumentasi. Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menemukan bahwa kolaborasi dalam IBL meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan pemahaman konseptual. Pada inkuiri terbuka, kolaborasi melibatkan pembagian tugas penelitian layaknya tim riset profesional. Hal ini menunjukkan bahwa sintaks bukan hanya soal kognitif, tetapi juga penguatan kompetensi sosial.

Sintaks juga menegaskan pentingnya pengalaman autentik. Pada level konfirmasi, masalah autentik sederhana dapat digunakan, misalnya menguji sifat fisis air. Pada level terbuka, isu global seperti perubahan iklim dapat dijadikan topik

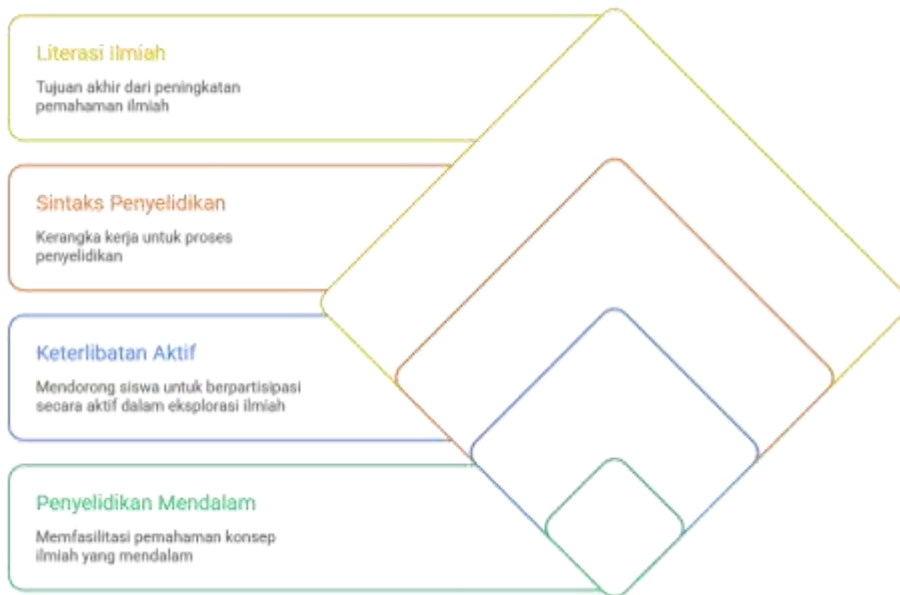
riset. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan bahwa pengalaman autentik memperkuat relevansi pembelajaran dengan kehidupan nyata. Dengan demikian, sintaks levels of inquiry tidak berhenti pada prosedur, melainkan membentuk jembatan antara pembelajaran formal dan realitas sosial.



(Gambar 2.25: Piramida Penerapan pengalaman autentik)

Integrasi AI memperkuat setiap level dalam sintaks. Pada level konfirmasi, AI dapat menyajikan simulasi eksperimen. Pada level terstruktur, AI membantu menganalisis data. Pada level terbimbing, AI memberi rekomendasi metodologis. Pada level terbuka, AI mendukung pengolahan big data dan visualisasi hasil. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menunjukkan bahwa AI mampu meningkatkan pemahaman konseptual sekaligus memperbaiki miskonsepsi. Integrasi ini menjadikan sintaks levels of inquiry relevan dengan transformasi digital.

Sintaks juga mendukung penguatan literasi ilmiah. Lieskovský dan Sunyík (2022) menegaskan bahwa keterampilan ilmiah lebih mudah berkembang jika siswa dilatih melalui tahapan inkuiri. Dengan sintaks ini, literasi ilmiah dapat diperoleh secara bertahap, mulai dari pemahaman dasar hingga penguasaan penelitian kompleks. Hal ini sejalan dengan tujuan pendidikan abad ke-21 yang menekankan pentingnya literasi sains sebagai fondasi berpikir kritis.



(Gambar 2.26: Sintaks Levels of Inquiry dalam penguatan literasi ilmiah)

Selain literasi, sintaks berkontribusi pada pengembangan keterampilan etika dan integritas. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa laboratorium berbasis inkuiri dapat menanamkan nilai integritas, kerahasiaan, dan keadilan. Pada level terbuka, siswa dilatih untuk mempertimbangkan aspek etis dalam penelitian, termasuk validitas data dan dampak sosial hasil riset. Dengan demikian, sintaks levels of inquiry bukan hanya alat pedagogis, tetapi juga wahana pembentukan karakter ilmiah.

Akhirnya, sintaks levels of inquiry berfungsi sebagai peta jalan pembelajaran yang progresif, reflektif, adaptif, dan kontekstual. Dengan menempatkan siswa pada jalur bertahap

dari investigasi sederhana hingga penelitian mandiri, sintaks ini memastikan pembelajaran tidak hanya berorientasi pada hasil, tetapi juga pada proses berpikir. Kajian oleh Dai et al. (2025) menegaskan bahwa pendekatan berbasis sintaks mampu memperkuat kompleksitas penalaran ilmiah dalam konteks pembelajaran berbasis game maupun proyek. Oleh karena itu, sintaks levels of inquiry merupakan kerangka strategis dalam membangun pendidikan yang kritis, kolaboratif, dan siap menghadapi era digital.



Gambar 2.27: Mencapai Pembelajaran Mendalam)

2.2 Konsep Dasar Research Project-Based Learning

2.2.1 Definisi dan Sejarah Perkembangan

Research Project-Based Learning (RPBL) didefinisikan sebagai pendekatan pembelajaran yang menggabungkan prinsip inkuiri ilmiah dengan manajemen proyek riset. Dalam pendekatan ini, peserta didik dilibatkan secara aktif dalam merancang, melaksanakan, dan melaporkan penelitian yang berfokus pada pemecahan masalah nyata. Menurut Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025), RPBL memberikan kerangka optimalisasi desain dan implementasi proyek dengan orientasi keberlanjutan. Definisi ini menekankan bahwa RPBL bukan sekadar aktivitas proyek, melainkan proses investigatif berbasis riset yang bertujuan membangun keterampilan berpikir kritis, literasi sains, dan kompetensi kolaboratif.

RPBL berkembang dari gagasan progresif pendidikan yang dipelopori oleh John Dewey pada awal abad ke-20, yang menekankan pentingnya pengalaman autentik dalam pembelajaran. Dewey mengajarkan bahwa pendidikan harus berhubungan langsung dengan kehidupan nyata agar bermakna. Seiring perkembangan, gagasan tersebut diformulasikan ulang menjadi pendekatan project-based learning yang menekankan keterlibatan aktif siswa dalam proyek kolaboratif. Kajian modern menunjukkan bahwa ketika prinsip riset dimasukkan ke dalam proyek, pembelajaran menjadi lebih mendalam, karena siswa tidak hanya menyelesaikan tugas, tetapi juga menghasilkan pengetahuan baru (Wang, 2024). Dengan

demikian, sejarah RPBL berakar pada tradisi progresivisme yang kemudian diperkuat oleh pendekatan ilmiah kontemporer.

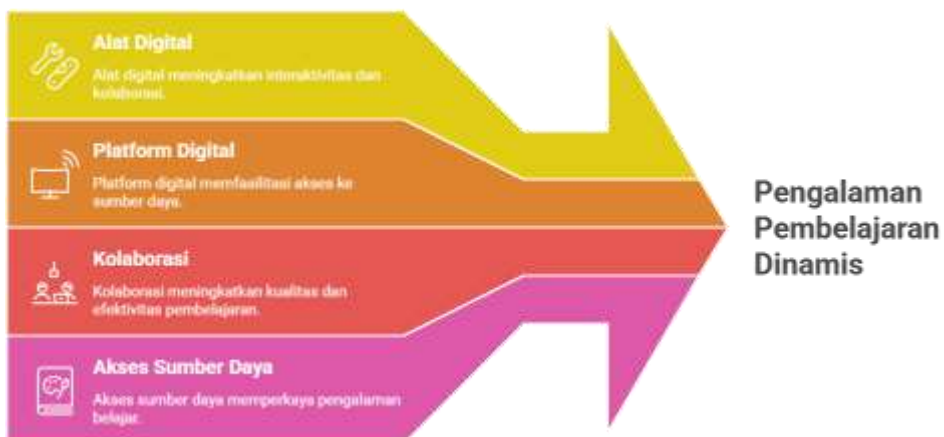


(Gambar 2.28: Evolusi Project-Based Learning)

Definisi RPBL juga menekankan pentingnya integrasi teori dan praktik. Siswa tidak hanya dituntut memahami konsep secara kognitif, tetapi juga menguji dan mengaplikasikannya dalam penelitian. Hal ini sejalan dengan temuan Supianti, Yaniawati, Bonyah, Hasbiah, dan Rozalini (2025), yang menegaskan bahwa penerapan project-based learning dengan pendekatan STEAM mampu meningkatkan literasi matematis

dan karakter siswa. Integrasi riset di dalamnya memperkaya proses pembelajaran karena siswa terbiasa melakukan investigasi ilmiah, analisis data, serta publikasi hasil. Dengan demikian, RPBL menempatkan riset sebagai inti pembelajaran yang menghubungkan teori, praktik, dan inovasi.

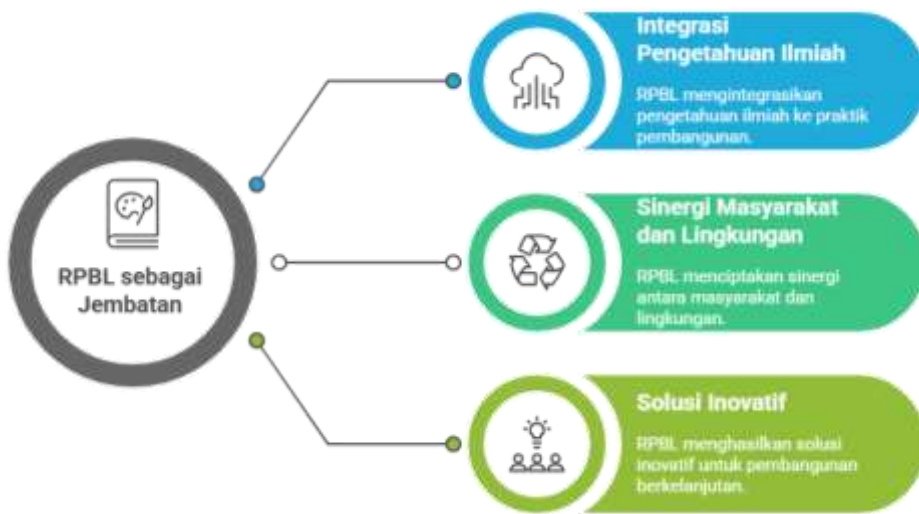
Perkembangan RPBL semakin relevan pada era digital, di mana ketersediaan teknologi memperluas akses terhadap sumber data, simulasi, dan analitik. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menunjukkan bahwa AI dalam platform project-based learning membantu menganalisis perilaku belajar mahasiswa serta mendukung proses kolaboratif. Transformasi ini memperlihatkan bahwa RPBL modern tidak dapat dilepaskan dari pemanfaatan teknologi digital sebagai instrumen pendukung riset. Dengan demikian, sejarah RPBL kini memasuki fase baru yang memadukan pedagogi klasik dengan teknologi mutakhir.



Gambar 2.29: Integrasi teknologi digital dalam perkembangan RPBL)

RPBL juga memiliki akar historis dalam gerakan problem solving pendidikan. Pada pertengahan abad ke-20, model problem-based learning mulai berkembang sebagai respons terhadap kebutuhan pembelajaran yang lebih aplikatif. Perbedaan mendasar antara problem-based learning dan RPBL terletak pada kedalaman riset yang dilakukan. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa RPBL lebih menekankan pada pengembangan metodologi ilmiah, sedangkan problem-based learning berfokus pada pencarian solusi praktis. Evolusi ini memperlihatkan bahwa RPBL adalah bentuk lanjutan yang lebih komprehensif.

Definisi RPBL juga menekankan pada pentingnya keberlanjutan hasil belajar. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menjelaskan bahwa RPBL tidak hanya menghasilkan pengetahuan baru, tetapi juga melatih peserta didik untuk menginternalisasi prinsip keberlanjutan dalam riset. Hal ini berarti bahwa proyek yang dijalankan tidak berhenti pada pembelajaran individual, melainkan berdampak pada konteks sosial dan lingkungan. Dengan demikian, RPBL memberikan kontribusi lebih luas terhadap masyarakat dan pembangunan berkelanjutan.

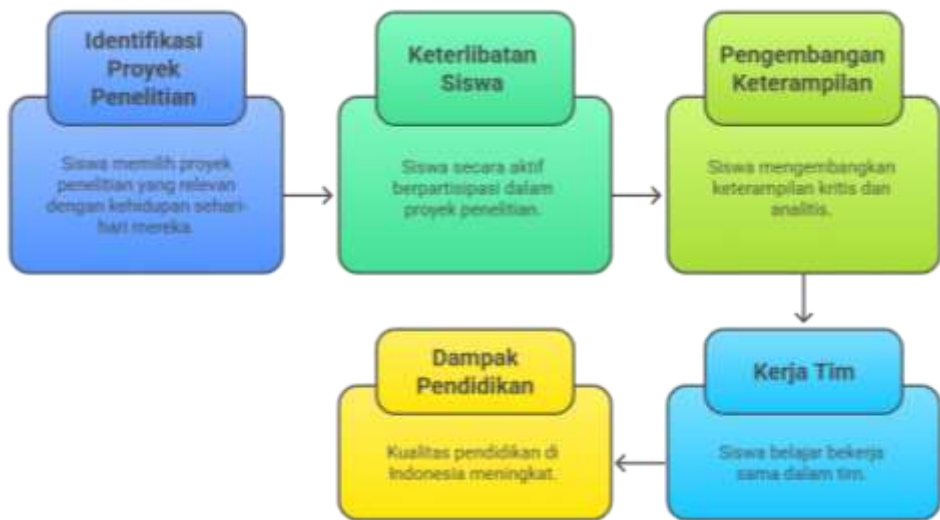


(Gambar 2.30: RPBL sebagai jembatan antara riset akademik dan pembangunan berkelanjutan)

Sejarah perkembangan RPBL juga tidak terlepas dari kebutuhan global terhadap kompetensi abad ke-21. Studi internasional menegaskan bahwa literasi sains, keterampilan kolaborasi, dan critical thinking adalah kompetensi yang sangat dibutuhkan dalam dunia kerja modern (Su, Yim, Wegerif, & Chu, 2025). RPBL menjawab kebutuhan ini dengan mengintegrasikan proyek riset yang menuntut keterampilan multidisipliner. Dengan demikian, RPBL tumbuh sebagai jawaban atas tantangan pendidikan global yang semakin kompleks.

RPBL dalam konteks Indonesia juga mengalami perkembangan yang signifikan. Penelitian oleh Asriyadin, Adiansha, dan Anwar (2024) memperlihatkan bahwa penerapan RPBL berbasis levels of inquiry mampu meningkatkan

keterampilan pemecahan masalah sains mahasiswa. Hal ini menunjukkan bahwa RPBL tidak hanya relevan secara global, tetapi juga efektif dalam konteks lokal. Perkembangan ini menegaskan bahwa RPBL fleksibel untuk diadaptasi pada berbagai setting pendidikan.



(Gambar 2.31: Penerapan Research Project-Based Learning di konteks pendidikan Indonesia)

Definisi RPBL dalam era modern juga diperkaya dengan dimensi literasi digital. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menekankan bahwa generative AI dapat membantu siswa memahami konsep sains, mengoreksi miskonsepsi, dan mengembangkan keterampilan riset. RPBL modern memasukkan dimensi ini dengan memanfaatkan AI sebagai alat bantu analisis, simulasi, dan refleksi. Dengan

demikian, sejarah RPBL berkembang dari model manual berbasis proyek menuju model digital berbasis riset.

Selain itu, RPBL juga berkembang sebagai wahana untuk membangun kesadaran etika akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam praktik riset adalah aspek yang harus diajarkan melalui model berbasis proyek. Oleh karena itu, RPBL kini diposisikan tidak hanya sebagai sarana membangun keterampilan kognitif, tetapi juga karakter etis dan integritas ilmiah.

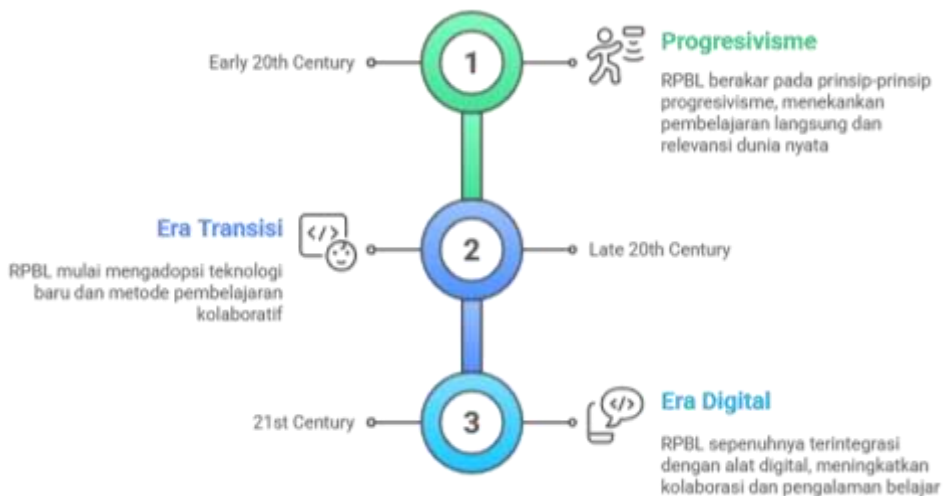


(Gambar 2.32: Integrasi etika akademik dalam kerangka RPBL)

Sejarah RPBL juga dipengaruhi oleh dorongan penelitian lintas disiplin. Studi oleh Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) memperlihatkan bahwa pengalaman riset interdisipliner meningkatkan literasi sains dan rasa memiliki terhadap sains. RPBL mengakomodasi hal ini dengan mendorong peserta didik merancang proyek riset yang menghubungkan berbagai bidang

pengetahuan. Dengan demikian, RPBL berkembang sebagai model yang memfasilitasi penguasaan pengetahuan lintas disiplin sekaligus menumbuhkan keterampilan kolaborasi global.

Akhirnya, RPBL dapat dipandang sebagai hasil sintesis antara teori progresivisme, pendekatan problem solving, dan integrasi teknologi digital. Dari perspektif sejarah, RPBL tumbuh dari gagasan pendidikan klasik hingga menjadi pendekatan modern yang berbasis riset dan inovasi. Dengan sintesis ini, RPBL didefinisikan sebagai pendekatan pembelajaran komprehensif yang relevan untuk mendukung penguatan ilmu pengetahuan, keterampilan abad ke-21, dan keberlanjutan global (Dai et al., 2025; Wang, 2024).



(Gambar 2.33: Evolusi historis RPBL dari progresivisme ke era digital)

2.2.2 Perbedaan Project-Based Learning dan Research Project-Based Learning

Project-Based Learning (PBL) dan Research Project-Based Learning (RPBL) sering dipandang memiliki kesamaan karena sama-sama menekankan keterlibatan peserta didik dalam proyek. Namun, terdapat perbedaan mendasar antara keduanya yang perlu dipahami agar implementasi lebih tepat sasaran. PBL pada umumnya berfokus pada pencapaian produk atau hasil akhir proyek, sementara RPBL menempatkan riset sebagai inti pembelajaran. Menurut Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025), PBL lebih menekankan desain struktural proyek, sedangkan RPBL mengintegrasikan metodologi riset secara komprehensif. Perbedaan ini menegaskan bahwa RPBL bukan hanya variasi PBL, tetapi transformasi menuju pembelajaran berbasis riset yang lebih mendalam.

Perbedaan pertama terletak pada orientasi tujuan. PBL diarahkan untuk menghasilkan produk nyata yang kontekstual, seperti laporan, presentasi, atau karya kreatif. Sebaliknya, RPBL berorientasi pada penemuan pengetahuan baru melalui penelitian. Wang (2024) menegaskan bahwa evaluasi PBL sering berfokus pada kualitas produk akhir, sementara RPBL menekankan proses ilmiah, validitas data, dan argumentasi akademik. Hal ini menunjukkan bahwa RPBL memiliki tujuan yang lebih kompleks karena tidak hanya menghasilkan produk, tetapi juga mengembangkan keterampilan riset.

Pengembangan Keterampilan dan Pengetahuan Siswa

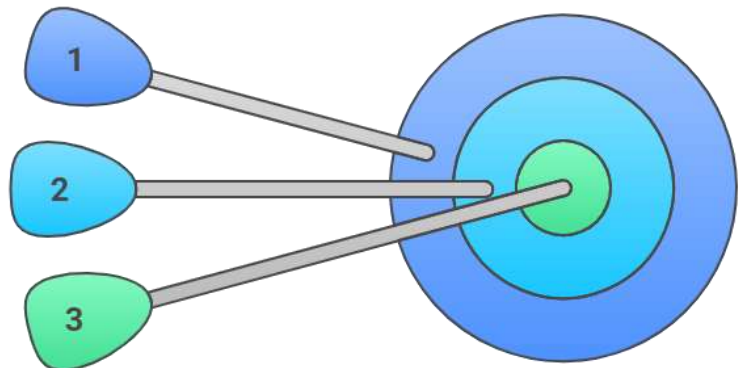
Tujuan utama dari kedua metode

Pembelajaran Berbasis Masalah (PBL)

Fokus pada pemecahan masalah praktis

Pembelajaran Masalah Berbasis Penelitian (RPBL)

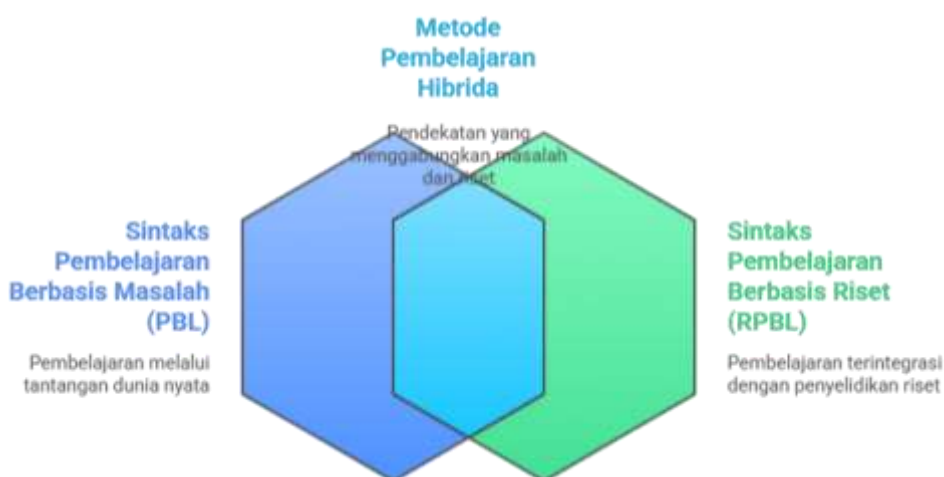
Mengintegrasikan penelitian ke dalam proses pembelajaran



(Gambar 2.34: Perbedaan orientasi tujuan antara PBL dan RPBL)

Perbedaan kedua terletak pada sintaks pembelajaran. PBL biasanya mengikuti tahapan identifikasi masalah, perencanaan, pelaksanaan proyek, dan presentasi hasil. Sedangkan RPBL menambahkan tahapan eksplisit berupa perumusan hipotesis, desain metodologi, analisis data, dan penyusunan laporan riset. Supianti, Yaniawati, Bonyah, Hasbiah, dan Rozalini (2025) menegaskan bahwa karakteristik riset dalam RPBL menjadikannya lebih sistematis dibandingkan PBL. Dengan demikian, RPBL memiliki sintaks yang lebih kompleks karena menuntut siswa terlibat dalam setiap tahap penelitian ilmiah.

Perbedaan ketiga adalah kedalaman keterlibatan siswa dalam aspek ilmiah. PBL memberikan ruang eksplorasi kreatif, tetapi tidak selalu menuntut pengujian hipotesis. RPBL justru menuntut keterlibatan penuh dalam proses investigasi ilmiah. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa PBL sering berhenti pada eksplorasi solusi praktis, sedangkan RPBL berlanjut hingga menghasilkan temuan yang dapat dipertanggungjawabkan secara akademis. Perbedaan ini menegaskan bahwa RPBL mempersiapkan siswa untuk berperan sebagai peneliti, bukan sekadar pelaksana proyek.



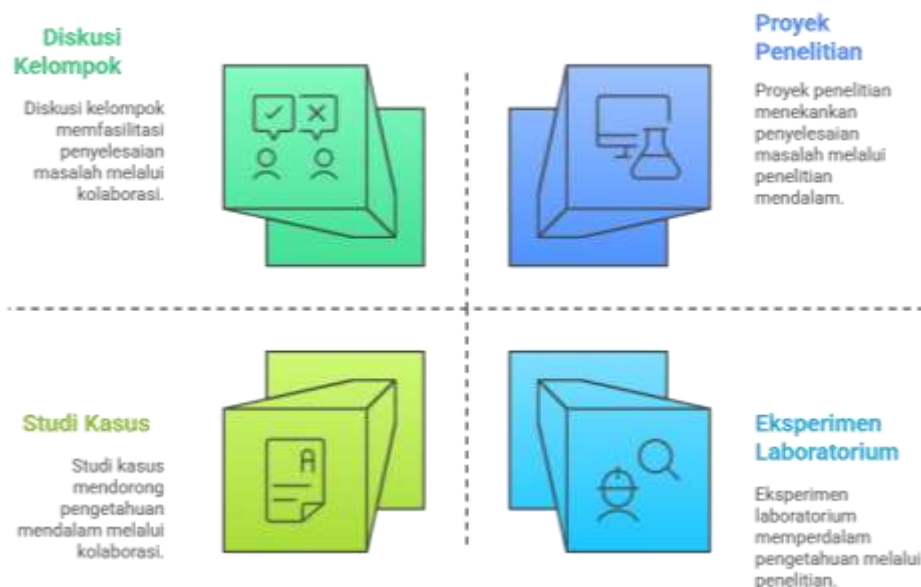
(Gambar 2.35: Sintaks PBL vs RPBL dalam konteks riset)

Perbedaan keempat terkait dengan peran guru. Dalam PBL, guru lebih banyak bertindak sebagai fasilitator yang memandu siswa menyelesaikan proyek. Pada RPBL, guru juga berperan sebagai pembimbing riset yang memastikan prosedur

ilmiah dijalankan dengan benar. Isenhour (2025) menegaskan bahwa bimbingan metodologis dalam RPBL sangat krusial untuk membangun keterampilan riset yang valid. Dengan demikian, RPBL menuntut kapasitas pendidik yang lebih tinggi dalam metodologi penelitian dibandingkan dengan PBL.

Perbedaan kelima dapat dilihat pada dimensi evaluasi. Evaluasi PBL umumnya menekankan produk, kreativitas, dan presentasi, sedangkan RPBL menekankan kualitas metodologi, keabsahan data, dan argumentasi berbasis bukti. Dai et al. (2025) menunjukkan bahwa RPBL memberikan kompleksitas lebih tinggi dalam penilaian karena harus mengevaluasi proses investigasi sekaligus hasil penelitian. Hal ini memperlihatkan bahwa RPBL menuntut sistem asesmen yang lebih ilmiah dan terstruktur dibandingkan PBL.

Perbedaan keenam adalah relevansi dengan kebutuhan abad ke-21. PBL membekali siswa dengan keterampilan kolaborasi, komunikasi, dan kreativitas, sedangkan RPBL memperluasnya dengan keterampilan penelitian, literasi data, dan etika akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa RPBL mampu mengajarkan integritas riset, kesadaran etika, serta keamanan data. Dengan demikian, RPBL lebih selaras dengan tuntutan global yang menekankan pentingnya literasi sains dan digital.

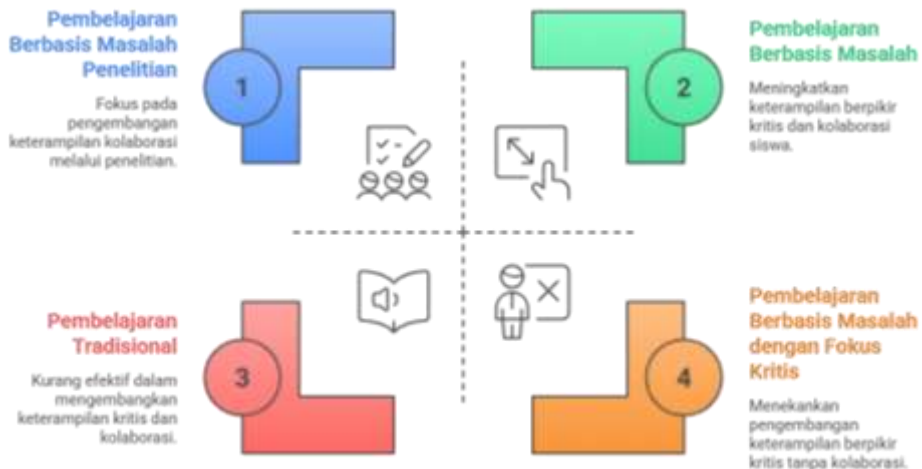


(Gambar 2.36: Evaluasi dalam PBL vs RPBL)

Perbedaan ketujuh terdapat pada integrasi teknologi. PBL memanfaatkan teknologi sebagai sarana penyajian produk, sementara RPBL menggunakan teknologi, termasuk AI, untuk mendukung proses penelitian. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menunjukkan bahwa AI dalam RPBL mampu membantu siswa mengoreksi miskonsepsi, menganalisis data, dan melakukan simulasi riset. Integrasi ini menjadikan RPBL lebih futuristik dan adaptif terhadap transformasi digital.

Perbedaan kedelapan adalah pada dampak pembelajaran. PBL berdampak pada peningkatan motivasi belajar dan keterampilan praktis, sedangkan RPBL menghasilkan keterampilan riset yang lebih dalam dan berkelanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menyebutkan bahwa RPBL

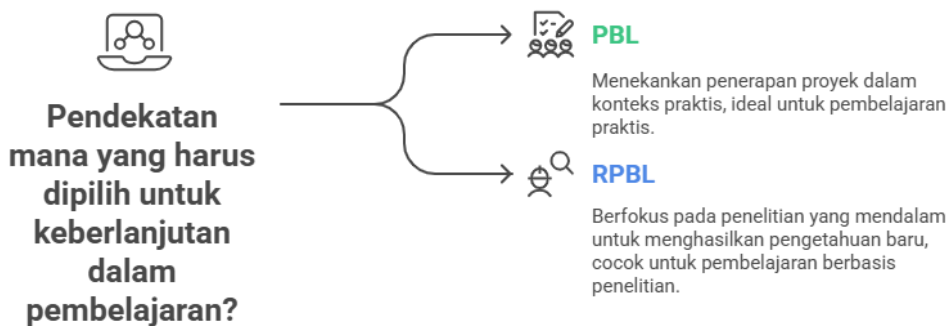
mampu melatih siswa berpikir kritis jangka panjang karena berhubungan langsung dengan praktik penelitian ilmiah. Dengan demikian, RPBL memiliki dampak yang lebih luas terhadap perkembangan akademik siswa.



(Gambar 2.37: Dampak pembelajaran PBL dan RPBL terhadap siswa)

Perbedaan kesembilan terkait dengan konteks penerapan. PBL lebih banyak digunakan di tingkat dasar dan menengah untuk memotivasi belajar melalui aktivitas proyek. RPBL lebih relevan di pendidikan tinggi atau program khusus yang menekankan riset. Namun, penelitian terbaru memperlihatkan bahwa RPBL juga dapat diadaptasi ke sekolah menengah dengan modifikasi tertentu (Rapi, Sujanem, Yasmini, & Setemen, 2025). Hal ini menunjukkan bahwa RPBL bersifat lebih fleksibel tetapi tetap menuntut kesiapan yang lebih tinggi.

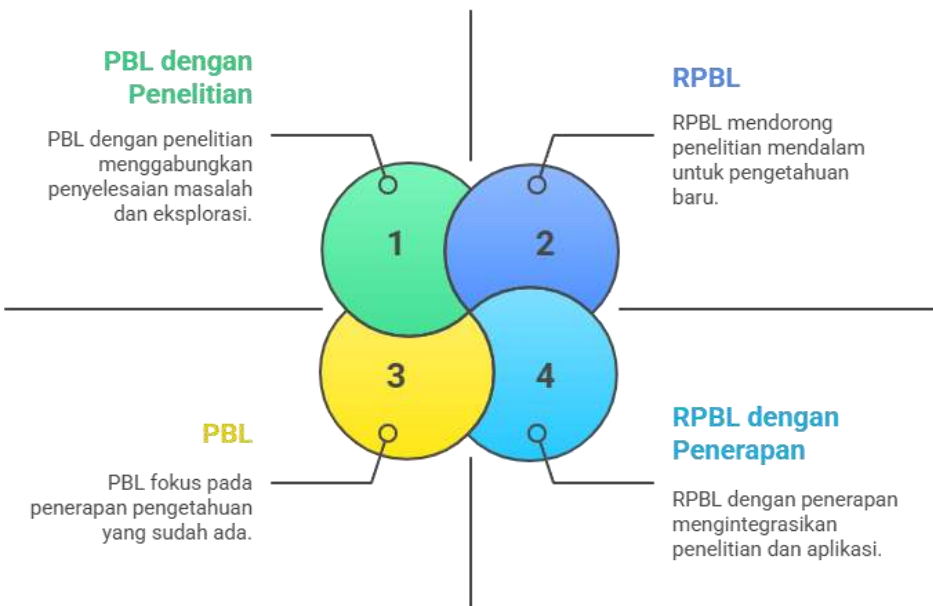
Perbedaan kesepuluh adalah pada dimensi keberlanjutan. PBL cenderung berakhir pada produk proyek, sedangkan RPBL menghasilkan kontribusi jangka panjang berupa pengetahuan baru, publikasi, atau rekomendasi berbasis riset. Hal ini sesuai dengan kajian Supianti et al. (2025) yang menekankan pentingnya mengintegrasikan literasi riset ke dalam pendidikan agar lebih berkelanjutan. RPBL dengan demikian menjadi strategi pembelajaran yang tidak hanya fokus pada tugas akademik, tetapi juga kontribusi nyata terhadap ilmu pengetahuan.



(Gambar 2.38: Perbedaan fokus keberlanjutan PBL dan RPBL)

Akhirnya, perbedaan utama PBL dan RPBL terletak pada filosofi dasarnya. PBL berakar pada ide konstruktivisme yang menekankan pengalaman belajar kontekstual, sementara RPBL berakar pada paradigma penelitian ilmiah yang menekankan penemuan pengetahuan baru. Dengan sintaks, tujuan, evaluasi, dan integrasi teknologi yang berbeda, RPBL dapat dipandang sebagai evolusi dari PBL menuju pendekatan yang lebih

kompleks, komprehensif, dan berorientasi pada riset (Divjak et al., 2025; Wang, 2024).



(Gambar 2.39: Sintesis perbedaan mendasar PBL dan RPBL)

2.2.3 Peran dalam Pendidikan Tinggi

Peran utama Research Project-Based Learning (RPBL) dalam pendidikan tinggi adalah sebagai strategi pedagogis yang menyiapkan mahasiswa untuk menjadi peneliti mandiri. RPBL memberikan kesempatan kepada mahasiswa untuk mengalami proses penelitian secara langsung, mulai dari perumusan masalah, pengumpulan data, hingga publikasi hasil. Isenhour (2025) menunjukkan bahwa penerapan proyek riset berbasis inkuiri memperkuat keterampilan penalaran ilmiah sekaligus meningkatkan keterlibatan akademik mahasiswa.

Dengan demikian, RPBL berfungsi sebagai jembatan antara teori yang dipelajari di kelas dengan praktik penelitian nyata.

RPBL juga berperan dalam memperkuat keterampilan abad ke-21 yang sangat relevan di dunia kerja modern. Melalui aktivitas riset kolaboratif, mahasiswa dilatih untuk berkomunikasi secara efektif, berpikir kritis, serta berkolaborasi lintas disiplin. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menegaskan bahwa integrasi riset dalam proyek memperkaya kompetensi interdisipliner sejak pendidikan tinggi. Hal ini memperlihatkan bahwa RPBL tidak hanya menyiapkan mahasiswa sebagai akademisi, tetapi juga sebagai profesional yang memiliki kemampuan berpikir sistematis.

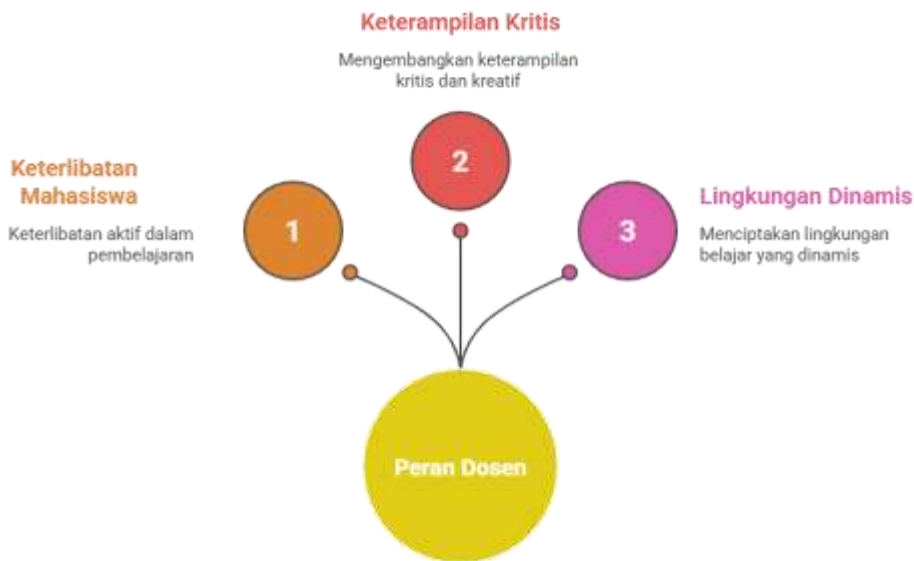


(Gambar 2.40: Peran RPBL dalam penguatan keterampilan abad ke-21 mahasiswa)

Selain itu, RPBL berperan penting dalam memperkuat literasi sains mahasiswa. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menemukan bahwa pengalaman riset interdisipliner pada

mahasiswa tahun pertama meningkatkan rasa memiliki terhadap sains dan literasi ilmiah. Melalui RPBL, mahasiswa terbiasa melakukan evaluasi bukti, menghubungkan teori dengan data empiris, dan menyusun argumen ilmiah. Literasi ini tidak hanya meningkatkan kapasitas akademik, tetapi juga membekali mahasiswa dengan keterampilan evaluatif yang penting dalam menghadapi dinamika informasi global.

RPBL juga berfungsi sebagai media pengembangan profesional dosen. Dalam penerapan RPBL, dosen berperan sebagai pembimbing penelitian yang memfasilitasi mahasiswa untuk merancang dan melaksanakan proyek riset. Peran ini berbeda dengan peran tradisional dosen sebagai penyampai materi. Kajian Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa RPBL mendorong inovasi asesmen di perguruan tinggi, di mana dosen dituntut untuk mengevaluasi tidak hanya produk akhir, tetapi juga proses riset mahasiswa. Dengan demikian, RPBL memperkuat profesionalisme dosen dalam mendesain pembelajaran berbasis riset.



(Gambar 2.41: Transformasi peran dosen dalam RPBL di perguruan tinggi)

Peran lain RPBL adalah mendukung internasionalisasi pendidikan tinggi. Proyek riset yang dijalankan mahasiswa dapat melibatkan kolaborasi lintas negara melalui platform digital. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menegaskan bahwa AI pada platform RPBL memungkinkan mahasiswa untuk menganalisis perilaku belajar secara kolaboratif lintas budaya. Dengan demikian, RPBL menjadi sarana strategis untuk memperkuat jejaring internasional, meningkatkan publikasi kolaboratif, dan memperluas dampak pendidikan tinggi di kancah global.

RPBL juga berperan dalam memperkuat etika akademik mahasiswa. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023)

menekankan bahwa pembelajaran inkuiri berbasis laboratorium dapat menanamkan nilai integritas, keadilan, dan kerahasiaan. Dalam konteks pendidikan tinggi, RPBL menjadi media penting untuk melatih mahasiswa memahami aspek etis penelitian, termasuk kejujuran dalam pengumpulan data, kesadaran plagiarisme, serta tanggung jawab akademik. Hal ini menjadikan RPBL relevan tidak hanya secara kognitif, tetapi juga secara moral.



(Gambar 2.42: Peran RPBL dalam pembentukan etika akademik mahasiswa)

Selain itu, RPBL mendukung keterampilan problem solving tingkat lanjut. Kajian Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menunjukkan bahwa strategi inkuiri

berbasis bukti memperkuat kemampuan pemecahan masalah ilmiah. Dalam pendidikan tinggi, mahasiswa dihadapkan pada persoalan kompleks yang membutuhkan pendekatan multidisipliner. RPBL melatih mahasiswa merumuskan solusi yang tidak hanya aplikatif, tetapi juga memiliki dasar ilmiah yang kuat. Dengan cara ini, RPBL menyiapkan mahasiswa untuk menghadapi permasalahan nyata di masyarakat dan dunia kerja.

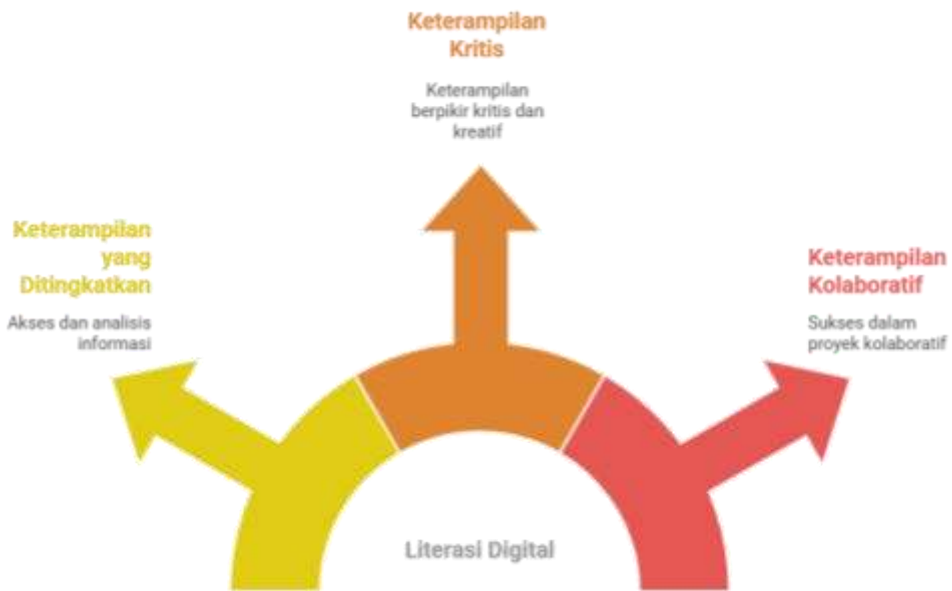
RPBL juga berfungsi sebagai katalis bagi inovasi pendidikan tinggi. Wang (2024) menegaskan bahwa penerapan project-based learning berbasis riset dalam bidang sains dan teknologi menghasilkan inovasi yang signifikan dalam praktik pembelajaran. Melalui RPBL, mahasiswa terdorong untuk menghasilkan karya inovatif, baik berupa prototipe, publikasi, maupun solusi sosial. Dengan demikian, RPBL tidak hanya berfungsi sebagai strategi belajar, tetapi juga sebagai motor penggerak inovasi akademik.



(Gambar 2.43: Inovasi pendidikan tinggi berbasis RPBL)

Dalam konteks pendidikan berkelanjutan, RPBL juga berperan menanamkan kesadaran ekologis dan sosial mahasiswa. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menjelaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan mampu meningkatkan pemahaman mahasiswa tentang isu lingkungan global. Dengan mengintegrasikan prinsip keberlanjutan dalam riset, RPBL menjadikan pendidikan tinggi sebagai agen perubahan yang berkontribusi pada pembangunan berkelanjutan. Hal ini memperkuat relevansi pendidikan tinggi dalam menjawab tantangan global.

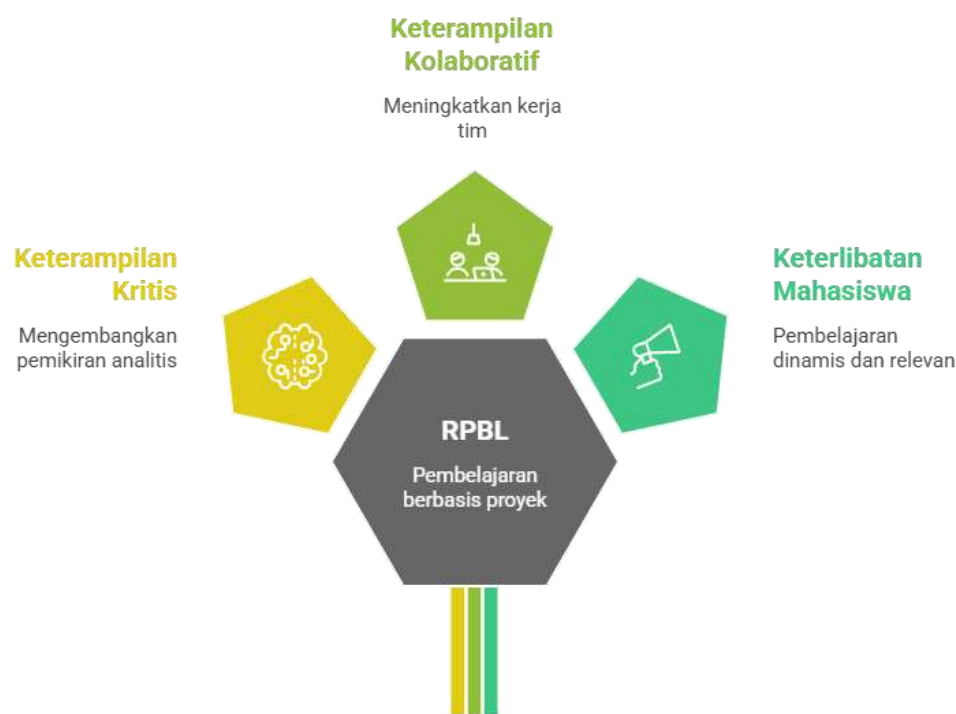
RPBL juga mendukung penguatan literasi digital mahasiswa. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menegaskan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran riset memperkaya pemahaman konseptual sekaligus memperbaiki miskonsepsi. Dalam pendidikan tinggi, mahasiswa dilatih menggunakan perangkat analitik, simulasi digital, dan big data untuk memperkuat riset mereka. Literasi digital ini penting agar lulusan perguruan tinggi mampu bersaing di dunia kerja yang berbasis teknologi.



(Gambar 2.44: Integrasi literasi digital dalam RPBL di perguruan tinggi)

RPBL juga memainkan peran strategis dalam meningkatkan kualitas publikasi ilmiah mahasiswa. Dengan keterlibatan langsung dalam penelitian, mahasiswa lebih siap menulis artikel ilmiah, mempresentasikan hasil di konferensi, dan berkontribusi pada literatur akademik. Rapi, Sujanem, Yasmini, dan Setemen (2025) menegaskan bahwa RPBL meningkatkan keterampilan penulisan akademik karena mahasiswa terbiasa menyusun laporan riset berbasis data. Hal ini memperkuat kontribusi pendidikan tinggi dalam menghasilkan pengetahuan baru yang dapat dipublikasikan.

Akhirnya, RPBL berperan sebagai kerangka pendidikan yang mengintegrasikan teori, praktik, riset, etika, dan teknologi. Dengan menggabungkan seluruh elemen tersebut, RPBL tidak hanya meningkatkan kualitas mahasiswa sebagai individu, tetapi juga memperkuat reputasi institusi pendidikan tinggi. Dengan dukungan literatur mutakhir (Divjak et al., 2025; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), RPBL dapat dipandang sebagai strategi kunci dalam membangun universitas riset yang berdaya saing global.

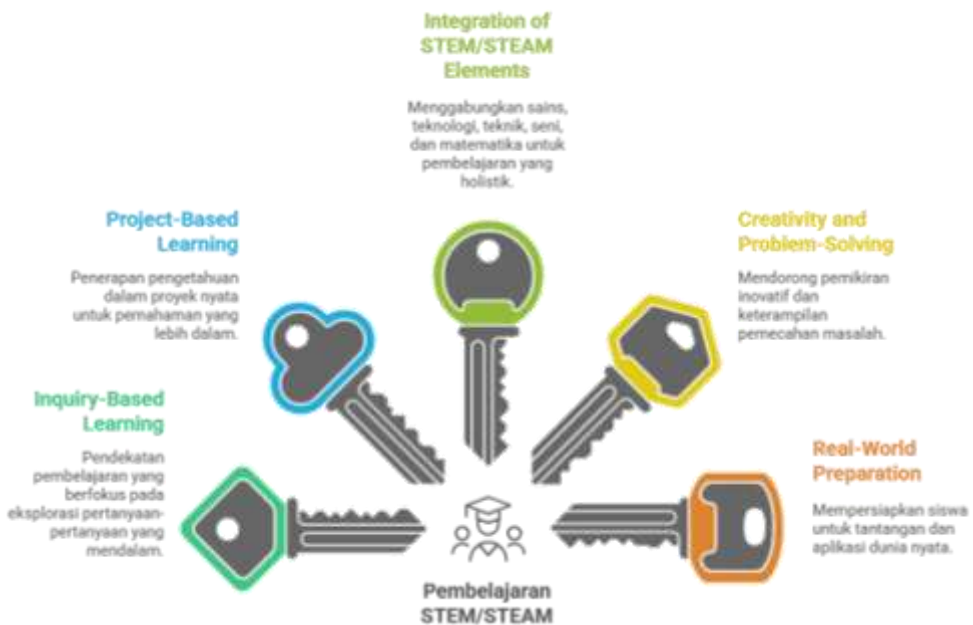


(Gambar 2.45: Sintesis peran RPBL dalam pendidikan tinggi abad ke-21)

2.3 Hubungan Inquiry dan Project Learning dalam STEM/STEAM Education

Hubungan inquiry dan project learning dalam STEM/STEAM education berakar pada kebutuhan mendesak untuk menghadirkan pembelajaran yang holistik, integratif, dan berbasis pengalaman nyata. Inquiry memberikan fondasi kognitif melalui proses investigatif, sementara project learning menambahkan dimensi aplikatif dengan menuntut peserta didik menghasilkan produk konkret. Larkin dan Lowrie (2023) menegaskan bahwa integrasi pendekatan ini memungkinkan peserta didik tidak hanya memahami konsep sains dan matematika, tetapi juga mengaplikasikannya dalam proyek multidisipliner yang autentik. Dengan demikian, inquiry dan project learning saling melengkapi dalam menciptakan pembelajaran STEM/STEAM yang bermakna.

Inquiry dalam konteks STEM/STEAM menekankan proses bertanya, menguji hipotesis, dan menghubungkan bukti empiris dengan teori. Sementara itu, project learning memperkaya pengalaman ini dengan memberikan ruang bagi kolaborasi, kreativitas, dan desain solusi nyata. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menegaskan bahwa pendekatan interdisipliner berbasis proyek dengan inkuiri dapat meningkatkan keterampilan kolaboratif dan literasi ilmiah sejak usia dini. Hal ini memperlihatkan bahwa hubungan inquiry dan project learning bukan sekadar integrasi metodologis, melainkan strategi untuk membentuk karakter pembelajar kritis sejak awal.



(Gambar 2.46: Sinergi inquiry dan project learning dalam kerangka STEM/STEAM)

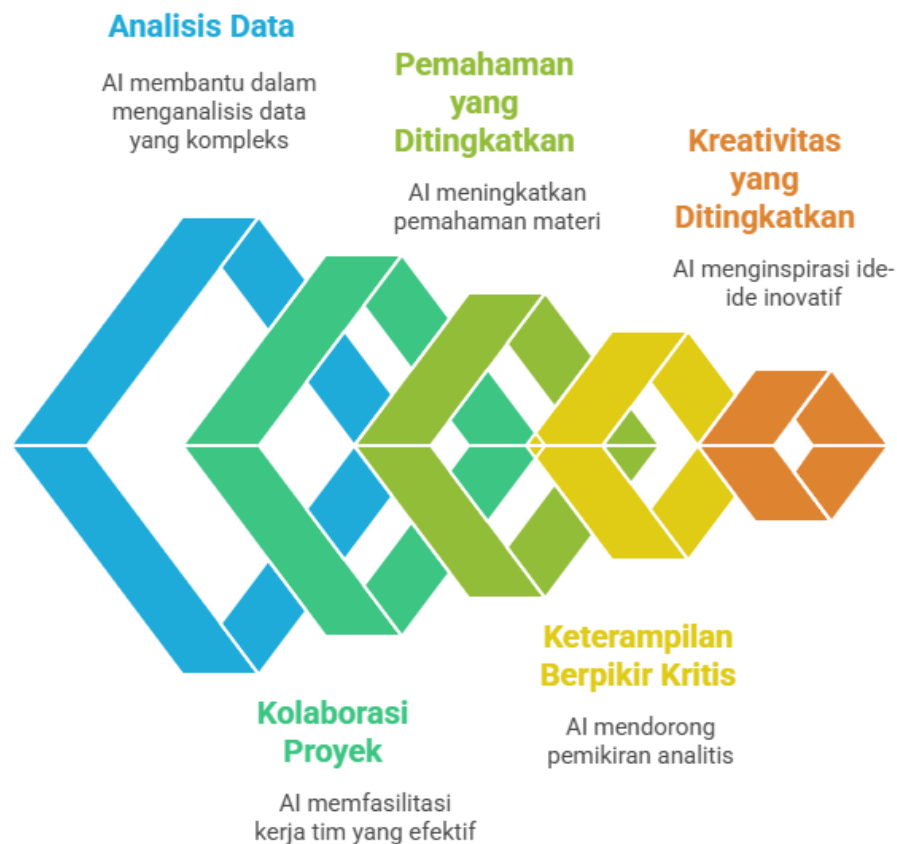
Keterpaduan inquiry dan project learning juga memperkuat kompetensi berpikir kritis dan pemecahan masalah kompleks. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menunjukkan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan argumentasi ilmiah, sementara proyek berbasis riset memperluas keterampilan ini ke arah pengembangan solusi aplikatif. Dalam kerangka STEM/STEAM, inquiry memastikan keakuratan proses ilmiah, sementara project learning memastikan relevansi hasil dengan kebutuhan nyata. Keduanya saling melengkapi dalam menghasilkan lulusan yang kompeten secara konseptual dan praktis.

Hubungan inquiry dan project learning dalam STEM/STEAM juga tercermin dalam kontribusinya terhadap literasi digital. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menegaskan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran berbasis inkuiri membantu mengoreksi miskonsepsi sekaligus meningkatkan pemahaman konseptual. Ketika dikombinasikan dengan project learning, AI dapat memperkaya proses desain, analisis data, dan pengembangan prototipe. Dengan demikian, integrasi ini memperkuat literasi digital yang semakin krusial dalam pendidikan STEM/STEAM.

Selain itu, inquiry dan project learning berkontribusi dalam menumbuhkan literasi sains yang komprehensif. Lieskovský dan Sunyík (2022) menemukan bahwa intervensi berbasis inkuiri efektif meningkatkan sikap positif terhadap sains dan keterampilan penalaran ilmiah. Jika diperkuat dengan project learning, siswa tidak hanya memahami teori, tetapi juga mengaplikasikannya melalui karya nyata. Hal ini memperkuat literasi sains sebagai salah satu pilar utama pendidikan STEM/STEAM.

Hubungan inquiry dan project learning juga penting dalam membangun kesadaran keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan memberikan dampak signifikan terhadap pemahaman siswa mengenai isu lingkungan. Inquiry memastikan siswa melakukan investigasi ilmiah terhadap

fenomena lingkungan, sementara project learning memungkinkan mereka merancang solusi berorientasi keberlanjutan. Dengan demikian, hubungan keduanya relevan dalam mendukung agenda pembangunan berkelanjutan global.



(Gambar 2.48: Hubungan inquiry-project learning dalam pendidikan berkelanjutan)

Dalam konteks pendidikan tinggi, hubungan inquiry dan project learning memberikan kontribusi besar terhadap penguatan keterampilan riset mahasiswa. Isenhour (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis inkuiri memperkuat

kemampuan penalaran ilmiah dan keterampilan metodologis. Integrasi keduanya membantu mahasiswa tidak hanya belajar teori riset, tetapi juga mengalaminya dalam proyek nyata. Hal ini menyiapkan lulusan dengan kompetensi riset yang lebih komprehensif.

Selain itu, integrasi inquiry dan project learning dalam STEM/STEAM memperkuat karakter kolaboratif. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menunjukkan bahwa IBL memperkuat keterampilan komunikasi dan kolaborasi. Dengan menambahkan dimensi proyek, kolaborasi meluas pada pembagian tugas riset, perancangan prototipe, dan publikasi hasil. Hal ini menjadikan hubungan inquiry-project learning sebagai sarana strategis membentuk budaya kolaborasi ilmiah sejak pendidikan dasar hingga perguruan tinggi.



(Gambar 2.49: Siklus Pembelajaran Kolaboratif)

Hubungan keduanya juga memperkuat pengembangan keterampilan metakognitif. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi dalam inkuiri berkontribusi besar pada penguatan kesadaran metakognitif. Dengan menambahkan proyek sebagai bagian akhir, siswa tidak hanya merefleksikan proses berpikir, tetapi juga kualitas produk yang dihasilkan. Integrasi ini menjadikan pendidikan STEM/STEAM lebih komprehensif karena melatih siswa mengelola kognisi, metakognisi, dan keterampilan teknis secara bersamaan.

Peran hubungan inquiry dan project learning dalam STEM/STEAM juga terlihat pada penguatan etika akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa laboratorium berbasis inkuiri berkontribusi terhadap penanaman nilai integritas, kerahasiaan, dan keadilan. Ketika dipadukan dengan project learning, mahasiswa tidak hanya belajar melakukan riset, tetapi juga memahami tanggung jawab sosial dari hasil riset tersebut. Hal ini memperlihatkan bahwa hubungan inquiry-project learning mampu membangun pembelajar yang beretika.



Integritas

Memastikan kejujuran dan keadilan dalam semua tindakan akademik.

Tanggung Jawab

Mengakui dan memenuhi kewajiban dalam proses pembelajaran.

Keterampilan Berpikir Kritis

Mengembangkan kemampuan untuk menganalisis dan mengevaluasi informasi secara efektif.

Kolaborasi

Mempromosikan kerja tim dan komunikasi yang efektif di antara siswa.

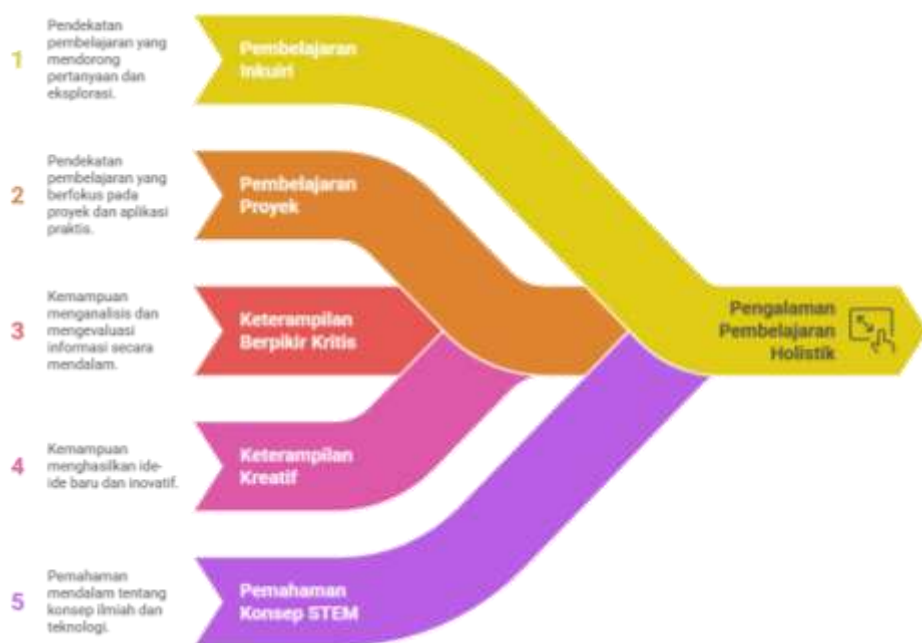
Lingkungan Belajar yang Saling Menghormati

Menciptakan suasana yang mendukung dan inklusif untuk semua peserta.

(Gambar 2.50: Etika akademik dalam pembelajaran)

Hubungan inquiry dan project learning dalam STEM/STEAM juga memperkuat relevansi pendidikan dengan dunia kerja. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa RPBL yang memadukan kedua pendekatan ini menghasilkan mahasiswa dengan keterampilan asesmen, analitik, dan kolaborasi yang sesuai kebutuhan industri. Dengan demikian, hubungan ini memastikan bahwa pendidikan STEM/STEAM tidak hanya berorientasi pada akademik, tetapi juga pada kesiapan kerja.

Akhirnya, hubungan inquiry dan project learning dapat dipandang sebagai fondasi utama pendidikan STEM/STEAM abad ke-21. Inquiry menjamin proses investigatif yang kritis, sedangkan project learning menjamin relevansi aplikatif. Kombinasi keduanya menghasilkan pembelajaran yang lebih dinamis, adaptif, dan inovatif. Dengan dukungan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), hubungan ini menjadi kerangka strategis untuk menghasilkan lulusan dengan kompetensi riset, literasi digital, dan tanggung jawab sosial.



(Gambar 2.51: Meningkatkan Pendekatan Pembelajaran dengan STEM/STEAM)

2.4 Teori Kognitif dan Neurosains dalam Inquiry & Project Learning

Inquiry dan project learning tidak hanya dibangun atas dasar teori pedagogis, tetapi juga memiliki landasan kuat dalam teori kognitif. Teori kognitif menekankan bahwa belajar adalah proses aktif di mana pengetahuan dikonstruksi melalui pengalaman. Dalam konteks inquiry, peserta didik mengembangkan keterampilan berpikir kritis dengan cara mengajukan pertanyaan, menguji hipotesis, dan merefleksikan hasil. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menegaskan bahwa berpikir analitis menjadi inti dari literasi ilmiah. Dengan demikian, inquiry selaras dengan teori kognitif yang menekankan proses internalisasi pengetahuan melalui aktivitas mental yang aktif.

Neurosains memberikan bukti empiris tentang bagaimana otak bekerja selama aktivitas inquiry dan project learning. Aktivitas investigatif merangsang korteks prefrontal yang berperan dalam pengambilan keputusan, kontrol kognitif, dan pemecahan masalah. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) menemukan bahwa model inkuiri berbasis neurosains mampu membentuk sikap ilmiah yang konsisten karena melibatkan keterlibatan otak pada level afektif dan kognitif. Hal ini memperlihatkan bahwa inquiry dan project learning tidak hanya meningkatkan pemahaman, tetapi juga mengubah cara kerja otak untuk mendukung pembelajaran yang lebih dalam.



(Gambar 2.52: Siklus Pembelajaran Berbasis Inkuiri dan Proyek)

Teori kognitif Piaget tentang constructivism juga memberikan dasar kuat bagi inquiry learning. Menurut Piaget, pembelajaran terjadi ketika individu mengalami ketidakseimbangan kognitif dan berusaha menyesuaikan skema mentalnya. Inquiry menciptakan kondisi ini melalui eksperimen dan investigasi, sehingga siswa terdorong untuk menyeimbangkan kembali skema kognitifnya. Lieskovský dan Sunyík (2022) menegaskan bahwa intervensi berbasis inkuiri efektif dalam memperbaiki sikap terhadap sains dan meningkatkan keterampilan penalaran ilmiah. Oleh karena itu, inquiry selaras dengan teori konstruktivis yang menempatkan ketidakseimbangan kognitif sebagai motor penggerak belajar.

Selain Piaget, teori Vygotsky tentang zone of proximal development (ZPD) juga mendukung implementasi inquiry dan project learning. Melalui interaksi sosial, peserta didik dapat mencapai kemampuan yang tidak mungkin dicapai secara individual. Dalam konteks project learning, kolaborasi tim riset menjadi bentuk konkret penerapan ZPD. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menunjukkan bahwa inquiry berbasis kolaborasi memperkuat keterampilan komunikasi dan literasi sains. Dengan demikian, inquiry dan project learning memanfaatkan prinsip ZPD untuk memperluas kapasitas kognitif peserta didik.



(Gambar 2.53: Hubungan ZPD dan Pembelajaran Aktif)

Neurosains juga menjelaskan peran emosi dalam mendukung pembelajaran berbasis inquiry dan proyek. Aktivitas otentik yang relevan dengan kehidupan nyata memicu sistem limbik, yang meningkatkan motivasi dan retensi memori. Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menemukan bahwa program berbasis inkuiri yang dikombinasikan dengan berpikir kritis mampu memperkuat keterampilan analitis mahasiswa. Hal ini membuktikan bahwa integrasi aspek emosional dan kognitif menjadikan inquiry dan project learning lebih efektif dibandingkan metode tradisional.

Selain itu, penelitian neurosains modern menunjukkan bahwa keterampilan metakognitif dapat diperkuat melalui pembelajaran berbasis riset. Refleksi yang menjadi bagian integral inquiry terbukti mengaktifkan area otak yang berhubungan dengan kesadaran diri dan regulasi kognitif. Pasigon (2024) menjelaskan bahwa refleksi dalam inkuiri berkontribusi langsung terhadap peningkatan kesadaran metakognitif. Dengan demikian, inquiry dan project learning berperan tidak hanya dalam pembentukan keterampilan kognitif, tetapi juga dalam penguatan fungsi otak metakognitif.

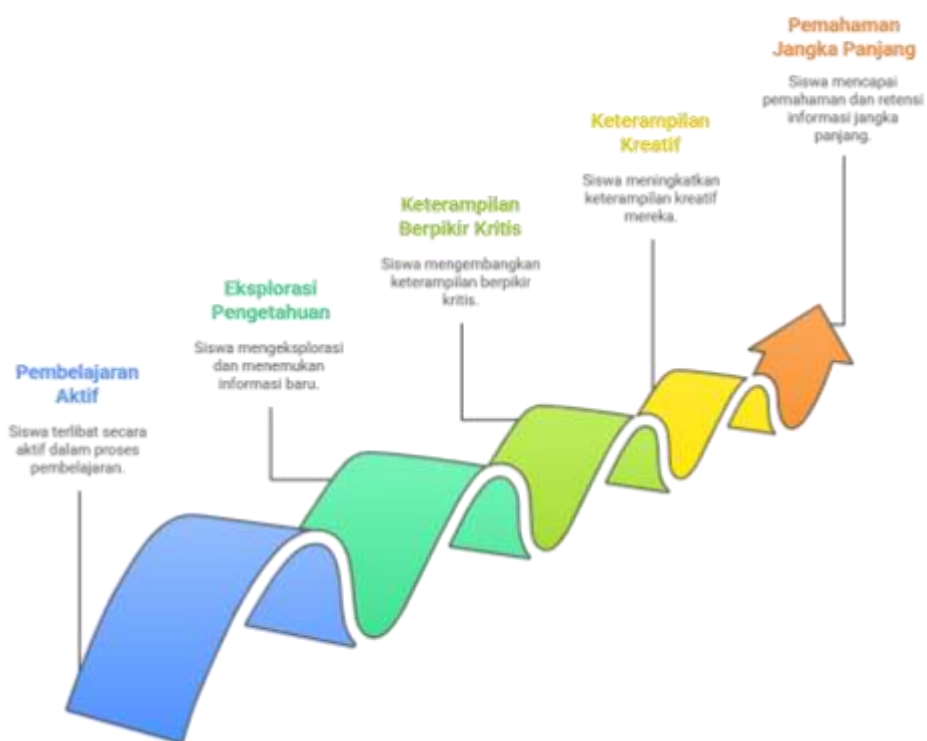


(Gambar 2.54: Siklus aktivasi metakognitif)

Hubungan inquiry dan project learning dengan teori kognitif juga tampak pada keterampilan pemecahan masalah kompleks. Menurut Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018), inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan siswa menghubungkan data empiris dengan teori ilmiah. Neurosains menjelaskan bahwa keterampilan ini berkaitan erat dengan fungsi prefrontal cortex yang memungkinkan individu merencanakan, menganalisis, dan mengevaluasi. Hal ini memperlihatkan sinergi antara teori kognitif dan neurosains dalam menjelaskan efektivitas inquiry learning.

Keterhubungan teori kognitif dan neurosains juga memperlihatkan bahwa inquiry dan project learning membangun dasar literasi ilmiah jangka panjang. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menunjukkan bahwa pengalaman riset

interdisipliner meningkatkan rasa memiliki terhadap sains sekaligus memperkuat literasi ilmiah. Secara neurosains, pengalaman investigatif yang berulang membentuk neural pathways baru yang mendukung keterampilan berpikir ilmiah. Hal ini memperlihatkan bahwa inquiry dan project learning menciptakan perubahan struktural dalam otak yang berdampak jangka panjang.

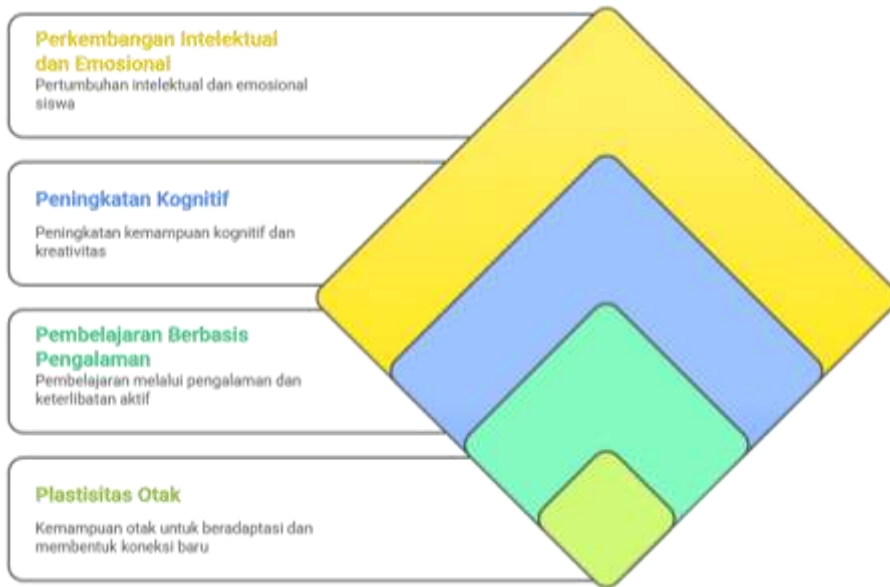


(Gambar 2.55: Membentuk jalur neural melalui pembelajaran aktif)

Teori kognitif juga menjelaskan bagaimana inquiry dan project learning mendukung pengembangan keterampilan

berpikir tingkat tinggi. Bloom's Taxonomy menekankan pentingnya keterampilan analisis, sintesis, dan evaluasi. Inquiry menyediakan ruang bagi siswa untuk menganalisis dan mengevaluasi data, sementara project learning menyediakan ruang untuk sintesis dalam bentuk produk nyata. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek berbasis keberlanjutan meningkatkan pemikiran kritis siswa. Integrasi teori kognitif ini menjadikan inquiry dan project learning sebagai sarana strategis untuk mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Neurosains menambahkan perspektif tentang plastisitas otak dalam mendukung inquiry dan project learning. Aktivitas investigatif dan kolaboratif merangsang pembentukan sinaps baru yang meningkatkan fleksibilitas kognitif. Hal ini diperkuat oleh studi Welter, Dawborn-Gundlach, Großmann, dan Krell (2024) yang menunjukkan efektivitas instrumen berbasis Rasch dalam mengukur perkembangan keterampilan penalaran. Dengan demikian, inquiry dan project learning bukan hanya mengubah cara berpikir, tetapi juga secara literal mengubah struktur otak.



(Gambar 2.56: Plastisitas otak dalam pembelajaran)

Selain itu, teori kognitif modern menekankan pentingnya literasi digital sebagai bagian dari proses berpikir. Inquiry berbasis teknologi membantu siswa mengakses data, melakukan simulasi, dan memvalidasi informasi digital. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menegaskan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran memperkuat pemahaman konseptual sekaligus memperbaiki miskonsepsi. Hal ini memperlihatkan bahwa inquiry dan project learning dapat disesuaikan dengan perkembangan kognitif era digital.

Akhirnya, kombinasi teori kognitif dan neurosains memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk memahami efektivitas inquiry dan project learning. Keduanya menegaskan bahwa pembelajaran berbasis riset tidak hanya meningkatkan

keterampilan akademik, tetapi juga membentuk struktur kognitif dan neural yang mendukung pembelajaran jangka panjang. Dengan dukungan literatur mutakhir (Asriyadin et al., 2021; Georgiou et al., 2021; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), inquiry dan project learning dapat dipandang sebagai model pembelajaran yang menghubungkan psikologi kognitif dengan biologi otak, sehingga relevan untuk menjawab tantangan pendidikan abad ke-21.



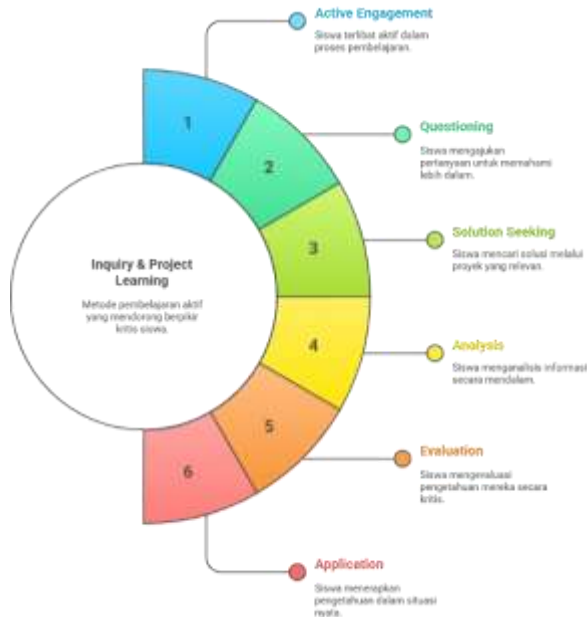
(Gambar 2.57: Meningkatkan Pembelajaran Berbasis Proyek)

2.5 Relevansi dengan Pengembangan 21st Century Skills

Inquiry & Project Learning memiliki relevansi yang sangat kuat dengan pengembangan 21st century skills yang dikenal sebagai keterampilan esensial abad ke-21. Keterampilan ini mencakup kemampuan berpikir kritis, kreativitas, komunikasi, kolaborasi, literasi digital, serta literasi sains. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri menumbuhkan keterampilan berpikir tingkat tinggi yang dibutuhkan dalam era globalisasi. Dengan demikian, Inquiry & Project Learning bukan sekadar

strategi instruksional, tetapi paradigma pendidikan yang sesuai dengan kebutuhan zaman.

Keterampilan berpikir kritis merupakan salah satu pilar utama 21st century skills. Inquiry Learning mendorong mahasiswa untuk mengajukan pertanyaan, mengevaluasi data, dan menyusun argumen berbasis bukti. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menemukan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan berpikir analitis siswa secara signifikan. Project Learning memperluas keterampilan ini dengan menuntut mahasiswa merancang solusi nyata atas masalah kompleks. Dengan demikian, Inquiry & Project Learning berkontribusi langsung pada penguatan keterampilan berpikir kritis.



(Gambar 2.58: Membuka kekuatan berpikir kritis melalui pembelajaran)

Selain berpikir kritis, kreativitas merupakan keterampilan esensial lainnya. Project Learning memberikan ruang bagi mahasiswa untuk merancang produk inovatif, sementara Inquiry Learning memberikan landasan konseptual agar kreativitas tetap berakar pada pengetahuan ilmiah. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menjelaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan orientasi keberlanjutan mampu meningkatkan kreativitas sekaligus kesadaran ekologis. Integrasi kedua model ini menghasilkan lulusan yang tidak hanya kreatif, tetapi juga visioner dalam menghadapi tantangan global.

Komunikasi juga menjadi keterampilan penting yang dibentuk melalui Inquiry & Project Learning. Kolaborasi tim riset dalam Project Learning menuntut mahasiswa untuk mempresentasikan ide, mendiskusikan temuan, dan menyusun laporan ilmiah. Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menegaskan bahwa strategi berbasis inkuiri meningkatkan keterampilan argumentasi dan komunikasi ilmiah. Dengan demikian, Inquiry & Project Learning mendukung pengembangan komunikasi akademik yang efektif dan berbasis bukti.



(Gambar 2.59: Pengembangan keterampilan komunikasi)

Kolaborasi menjadi keterampilan yang tak terpisahkan dari 21st century skills. Inquiry Learning menekankan interaksi sosial dalam merumuskan hipotesis, sedangkan Project Learning menuntut kerja tim dalam menyelesaikan proyek. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menemukan bahwa pengalaman riset interdisipliner memperkuat rasa memiliki terhadap sains sekaligus keterampilan kolaboratif. Dengan demikian, hubungan inquiry dan project learning menghasilkan pembelajaran yang menumbuhkan budaya kerja sama, sesuai dengan tuntutan dunia kerja global.

Literasi sains merupakan keterampilan lain yang diperkuat melalui integrasi Inquiry & Project Learning. Lieskovský dan Sunyík (2022) menjelaskan bahwa intervensi berbasis inkuiri meningkatkan literasi sains secara signifikan, termasuk sikap positif terhadap sains. Project Learning memperluasnya dengan menjadikan literasi sains sebagai dasar dalam merancang solusi aplikatif. Integrasi keduanya memastikan bahwa mahasiswa memiliki literasi sains yang kuat, yang relevan dalam menghadapi tantangan abad ke-21.



(Gambar 2.60: Inquiry & Project Learning dalam penguatan scientific literacy)

Selain literasi sains, literasi digital juga sangat penting. Inquiry Learning dengan dukungan AI memperkaya keterampilan mahasiswa dalam mengevaluasi informasi digital, sementara Project Learning melatih mereka menggunakan perangkat digital untuk desain proyek. El Fathi, Saad, Larhzil,

Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menegaskan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran membantu mengatasi miskonsepsi sekaligus meningkatkan pemahaman konseptual. Hal ini memperlihatkan bahwa Inquiry & Project Learning sangat relevan dengan kebutuhan literasi digital di era teknologi.

Inquiry & Project Learning juga relevan dalam membangun keterampilan pemecahan masalah kompleks. Erlina et al. (2018) menegaskan bahwa inkuiri berbasis bukti memperkuat keterampilan problem solving, sementara Project Learning menambahkan dimensi aplikatif. Dengan menggabungkan keduanya, mahasiswa dilatih untuk mengidentifikasi masalah, menganalisis data, serta merancang solusi inovatif. Keterampilan ini merupakan kompetensi inti dalam menghadapi dunia kerja abad ke-21.



(Gambar 2.61: Meningkatkan keterampilan pemecahan masalah melalui pembelajaran aktif)

Selain itu, Inquiry & Project Learning mendukung pengembangan keterampilan metakognitif. Refleksi yang melekat pada inkuiri melatih mahasiswa untuk mengevaluasi proses berpikirnya, sementara proyek melatih mereka untuk menilai hasil akhir dari solusi yang dirancang. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi inkuiri berperan penting dalam meningkatkan kesadaran metakognitif. Integrasi keduanya memastikan bahwa mahasiswa mampu belajar secara mandiri sepanjang hayat, yang merupakan salah satu ciri pembelajar abad ke-21.

Etika akademik juga menjadi bagian penting dari 21st century skills. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa laboratorium berbasis inkuiri dapat menanamkan nilai integritas, kerahasiaan, dan keadilan. Project Learning memperkuat aspek ini dengan menuntut mahasiswa mempertimbangkan implikasi sosial dari hasil riset. Dengan demikian, Inquiry & Project Learning bukan hanya membangun keterampilan teknis, tetapi juga karakter moral yang relevan dengan dunia akademik.



(Gambar 2.62: Mengembangkan etika akademik melalui pembelajaran aktif)

Relevansi Inquiry & Project Learning dengan 21st century skills juga terlihat pada kontribusinya terhadap kesiapan kerja. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa RPBL menghasilkan mahasiswa dengan keterampilan asesmen, analitik, dan kolaboratif yang sesuai kebutuhan industri. Hal ini menegaskan bahwa keterampilan yang diperoleh melalui integrasi inquiry dan project learning memiliki relevansi langsung terhadap dunia kerja modern.

Akhirnya, Inquiry & Project Learning dapat dipandang sebagai kerangka pendidikan komprehensif yang menghubungkan teori, praktik, riset, dan etika. Dengan dukungan literatur mutakhir (Chu et al., 2017; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), pendekatan ini selaras dengan pengembangan 21st century skills. Hubungan keduanya menjadikan pendidikan lebih dinamis, inovatif, dan relevan, sehingga mampu menyiapkan generasi pembelajar kritis dan adaptif di era global.



(Gambar 2.63: Sintesis relevansi Inquiry & Project Learning dengan 21st Century Skills)

BAB III. ARTIFICIAL INTELLIGENCE DALAM PENDIDIKAN

3.1 Definisi dan Perkembangan Artificial Intelligence (AI)

Artificial Intelligence (AI) secara konseptual didefinisikan sebagai cabang ilmu komputer yang dirancang untuk menciptakan sistem yang mampu meniru kemampuan kognitif manusia, termasuk pembelajaran, penalaran, pengenalan pola, dan pengambilan keputusan. Dalam konteks pendidikan, AI dipahami bukan sekadar teknologi otomatisasi, tetapi sebagai entitas yang berfungsi sebagai mitra intelektual untuk mendukung proses belajar mengajar. Luckin (2025) menekankan bahwa AI dalam pendidikan harus dipahami sebagai upaya untuk menumbuhkan kecerdasan manusia, bukan menggantikannya. Definisi ini menegaskan bahwa AI memiliki potensi sebagai penguat kapasitas berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas, yang semuanya sangat penting dalam dunia pendidikan modern.

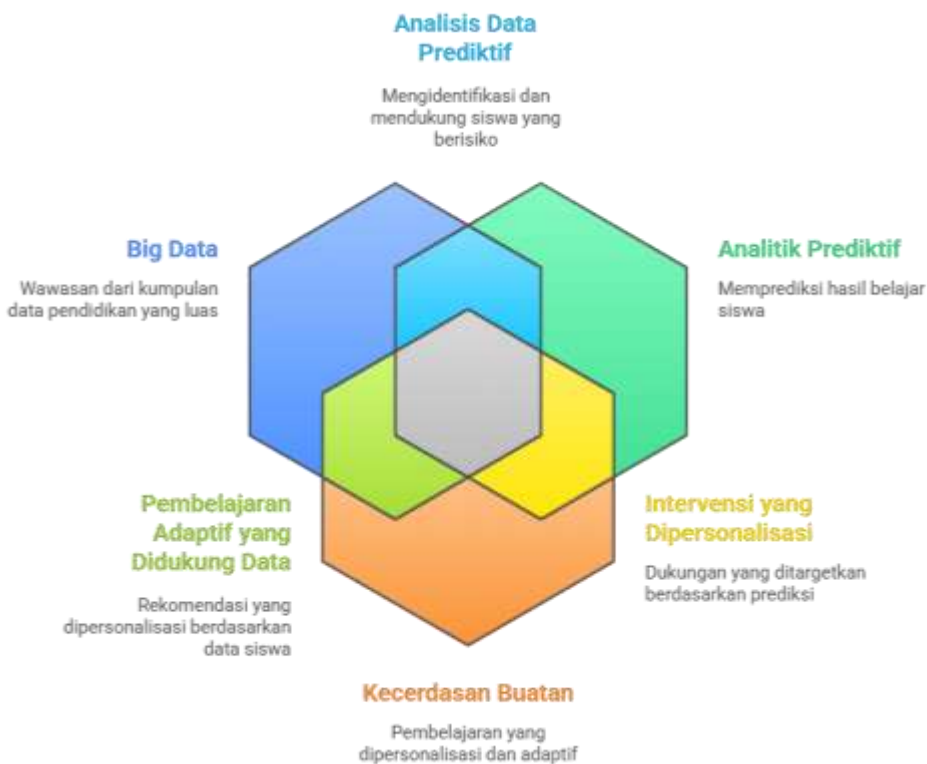
Perkembangan AI bermula sejak pertengahan abad ke-20, ketika tokoh seperti Alan Turing memperkenalkan konsep mesin cerdas melalui Turing Test. Perjalanan panjang AI melibatkan fase optimisme di tahun 1950-1970-an, kemudian mengalami kekecewaan dalam periode yang dikenal sebagai AI Winter. Namun, kemajuan teknologi komputasi, khususnya machine learning dan deep learning, sejak awal abad ke-21 membawa AI ke dalam fase kebangkitan baru. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024)

menjelaskan bahwa perkembangan algoritma pembelajaran mesin mempercepat kemampuan AI dalam mengenali pola data pendidikan, memberikan prediksi, serta mendukung personalisasi pembelajaran. Dengan demikian, sejarah AI memperlihatkan evolusi dari teori komputasi ke penerapan praktis yang semakin luas di dunia pendidikan.

Dalam pendidikan, definisi AI tidak dapat dilepaskan dari kemampuan teknologi untuk memberikan personalisasi pembelajaran. AI memiliki kemampuan unik untuk menganalisis data belajar peserta didik, mengidentifikasi kelemahan, serta memberikan umpan balik adaptif. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa adaptasi AI dalam kurikulum sains bahkan dapat mencakup isu etika dan literasi digital, sehingga peserta didik bukan hanya menguasai konten, tetapi juga memahami implikasi sosial penggunaan teknologi. Hal ini memperluas definisi AI dari sekadar alat teknologi menjadi komponen integral dalam membangun kompetensi literasi digital dan etika abad ke-21.

Perkembangan AI dalam pendidikan juga berkaitan erat dengan kemajuan big data dan analitik prediktif. Teknologi AI modern mampu mengolah data dalam jumlah besar untuk menghasilkan wawasan tentang perilaku belajar mahasiswa. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menunjukkan bahwa AI pada platform project-based learning dapat menganalisis perilaku mahasiswa secara mendalam untuk meningkatkan efektivitas pembelajaran kolaboratif. Dengan demikian, AI tidak

hanya mendefinisikan ulang cara guru menyampaikan materi, tetapi juga bagaimana institusi pendidikan mengelola data pembelajaran untuk peningkatan mutu.



(Gambar 3.2: Kekuatan transformasi dari sinergi teknologi pendidikan)

Definisi AI dalam konteks pendidikan juga melibatkan integrasi generative AI yang mampu menghasilkan konten baru, mulai dari teks, gambar, hingga simulasi. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menjelaskan bahwa generative AI dapat memperkuat pemahaman konseptual sekaligus mengoreksi miskonsepsi peserta didik dalam STEM.

Perkembangan ini memperlihatkan bahwa AI tidak lagi terbatas pada peran menganalisis, tetapi juga berfungsi sebagai fasilitator kreatif dalam menciptakan pengalaman belajar baru yang lebih interaktif.

Perjalanan perkembangan AI juga ditandai oleh meningkatnya relevansi etika dalam penggunaannya. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan menjadi prinsip penting ketika AI diterapkan dalam laboratorium inkuiri berbasis pendidikan. Definisi AI dalam konteks modern harus mencakup bukan hanya aspek teknis, tetapi juga prinsip moral agar penggunaannya tidak merugikan peserta didik. Perkembangan ini memperlihatkan bahwa pendidikan dengan AI harus selalu diseimbangkan dengan nilai-nilai etika akademik.

Perkembangan historis AI dalam pendidikan juga menunjukkan bahwa teknologi ini berfungsi sebagai penguat pedagogi aktif. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menegaskan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran berbasis inkuiri dapat memperkuat kontrol variabel, penalaran deduktif, serta pemahaman ilmiah siswa. Dengan demikian, definisi AI dalam pendidikan mencakup peran sebagai katalis dalam memperkuat keterampilan berpikir kritis dan ilmiah, bukan sekadar pengganti peran guru.

Peran AI dalam pendidikan modern juga memperlihatkan kesinambungan dengan gerakan literasi sains global. Lieskovský dan Sunyík (2022) menekankan bahwa intervensi berbasis

teknologi mendukung peningkatan keterampilan penalaran ilmiah dan sikap positif terhadap sains. Ketika dikombinasikan dengan project learning, AI memperkaya proses investigasi dan menghasilkan temuan baru yang berlandaskan data empiris. Hal ini memperkuat definisi AI sebagai instrumen yang mendukung pengembangan literasi sains berkelanjutan.

Definisi AI juga harus dipahami dalam kaitannya dengan konteks globalisasi pendidikan. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menjelaskan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi mendukung peningkatan prestasi akademik secara signifikan. AI sebagai bagian dari metodologi ini memungkinkan pembelajaran lebih adaptif, kolaboratif, dan inklusif. Dengan demikian, perkembangan AI di dunia pendidikan semakin selaras dengan tuntutan global untuk menghasilkan generasi yang mampu bersaing secara internasional.

AI dalam pendidikan juga berperan penting dalam meningkatkan keterampilan metakognitif. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi yang dipandu AI membantu siswa memahami strategi kognitif yang digunakan dalam menyelesaikan masalah. Definisi AI dalam hal ini bukan hanya sebagai alat analitik, tetapi juga sebagai pendamping reflektif yang memperkuat kesadaran diri peserta didik dalam belajar. Hal ini menempatkan AI dalam posisi strategis sebagai penguat pembelajaran sepanjang hayat.

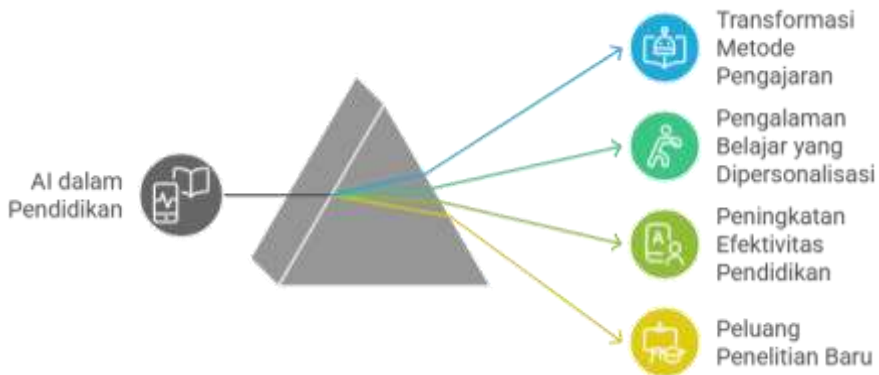
Perkembangan AI juga menandai pergeseran paradigma dalam pendidikan tinggi. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023)

menunjukkan bahwa pengalaman interdisipliner berbasis riset yang didukung AI meningkatkan literasi sains dan rasa memiliki terhadap sains. Dengan demikian, AI menjadi elemen penting dalam mendukung universitas riset modern yang menuntut kolaborasi lintas disiplin. Perkembangan ini memperlihatkan bahwa definisi AI dalam pendidikan tinggi tidak hanya terbatas pada personalisasi belajar, tetapi juga perluasan cakupan riset dan inovasi.

Selain itu, AI juga memiliki definisi penting dalam kaitannya dengan literasi digital. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menjelaskan bahwa AI dapat memperkuat kemampuan berpikir kritis dalam pendidikan dasar. Integrasi AI ke dalam model inquiry dan project learning memperkuat literasi digital sebagai salah satu 21st century skills utama. Perkembangan ini menegaskan bahwa AI dalam pendidikan berfungsi untuk menyeimbangkan antara pengetahuan konseptual, keterampilan praktis, dan literasi digital.

Seiring dengan perkembangan zaman, definisi AI dalam pendidikan terus mengalami perluasan. Saat ini AI tidak hanya dipahami sebagai alat pendukung, tetapi sebagai mitra intelektual yang mampu memperluas kapasitas berpikir dan kreativitas manusia. Dengan landasan literatur mutakhir (Luckin, 2025; Tlili et al., 2024; El Fathi et al., 2025), AI diposisikan sebagai instrumen transformasi pendidikan yang menekankan personalisasi, integrasi riset, etika akademik, serta literasi digital.

Dengan demikian, perkembangan AI dalam pendidikan tidak hanya bersifat teknologis, tetapi juga filosofis, etis, dan pedagogis.



(Gambar 3.7: Mengungkap dimensi AI dalam pendidikan)

3.2 Peran AI dalam Pembelajaran Modern

Artificial Intelligence (AI) memiliki peran sentral dalam pembelajaran modern karena kemampuannya untuk mempersonalisasi pengalaman belajar sesuai kebutuhan individu. Sistem berbasis AI mampu menganalisis data interaksi siswa dengan materi pembelajaran, mengidentifikasi kekuatan serta kelemahan, lalu menyajikan rekomendasi pembelajaran yang adaptif. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menegaskan bahwa pendekatan berbasis AI memungkinkan kurikulum yang lebih dinamis, responsif terhadap data, dan berorientasi pada kebutuhan peserta didik. Hal ini memperlihatkan bahwa AI berfungsi sebagai penggerak

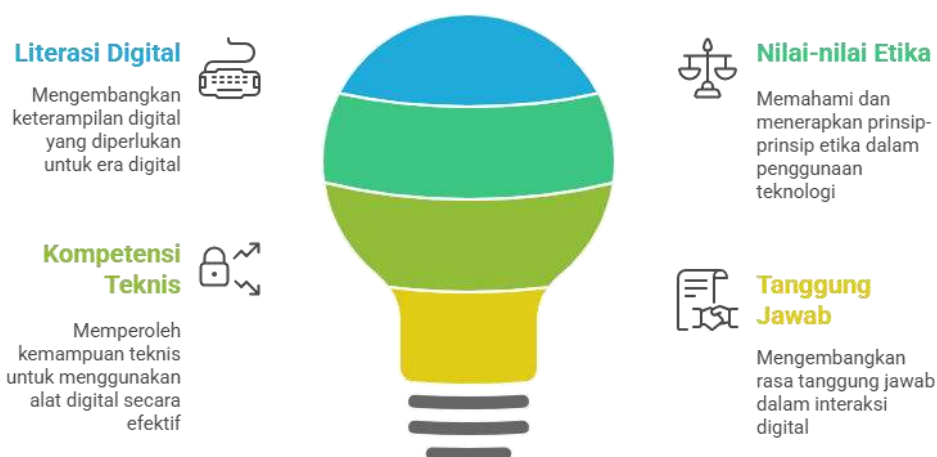
transformasi dari pendidikan tradisional menuju pendidikan yang benar-benar adaptif.

AI juga berperan sebagai fasilitator pengembangan keterampilan abad ke-21. Dengan mengintegrasikan AI ke dalam inquiry learning, siswa tidak hanya diajarkan untuk memahami konten, tetapi juga untuk berpikir kritis, berkolaborasi, dan mengembangkan kreativitas. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menjelaskan bahwa generative AI mendukung siswa dalam mengoreksi miskonsepsi sekaligus membangun pemahaman konseptual yang lebih baik. Dengan cara ini, AI berperan sebagai instrumen pembelajaran sekaligus mitra intelektual yang memperkuat kapabilitas berpikir tingkat tinggi.

Dalam pembelajaran modern, AI juga berperan meningkatkan efektivitas asesmen. Sistem berbasis AI dapat melakukan analisis data hasil belajar secara real-time untuk memberikan umpan balik formatif kepada siswa. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menekankan bahwa pemanfaatan AI dalam asesmen mendorong inovasi dalam pendidikan tinggi, di mana penilaian tidak hanya berfokus pada produk akhir, tetapi juga pada proses belajar yang kompleks. Dengan demikian, AI mendukung asesmen yang lebih objektif, terukur, dan berbasis data.

AI juga berperan dalam memperkuat literasi digital siswa. Integrasi AI pada kurikulum membantu siswa memahami bagaimana data diproses, bagaimana algoritma bekerja, serta

apa implikasinya terhadap kehidupan sosial dan etika. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menjelaskan bahwa penerapan AI dalam kurikulum STEM tidak hanya berfokus pada konten teknis, tetapi juga etika penggunaan teknologi. Dengan demikian, AI tidak hanya membangun keterampilan teknis, tetapi juga kesadaran kritis terhadap dampak sosial teknologi.

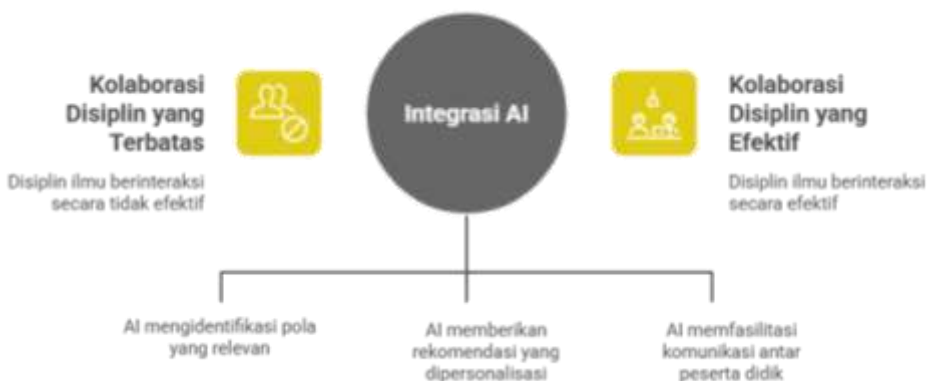


(Gambar 3.9: Integrasi literasi digital dan etika melalui AI dalam pembelajaran)

Selain itu, AI berperan penting dalam meningkatkan keterlibatan siswa melalui immersive learning. Teknologi AI memungkinkan hadirnya lingkungan belajar berbasis simulasi, realitas virtual, atau chatbot yang interaktif. Chang, Park, dan Park (2023) menunjukkan bahwa penggunaan chatbot berbasis AI dalam kegiatan inkuiri sains memperkuat keterlibatan siswa sekaligus meningkatkan kualitas investigasi. Dengan demikian,

AI memperluas ruang belajar dari sekadar ruang kelas menuju pengalaman belajar yang lebih interaktif dan menarik.

Peran AI juga terlihat dalam mendukung kolaborasi lintas disiplin. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menjelaskan bahwa AI pada platform project-based learning membantu mahasiswa menganalisis pola kolaborasi, sehingga memfasilitasi kerja sama yang lebih efektif. Dalam konteks pembelajaran modern, integrasi ini memungkinkan mahasiswa untuk terlibat dalam proyek lintas bidang, membangun literasi interdisipliner, sekaligus menyiapkan mereka menghadapi tantangan global.

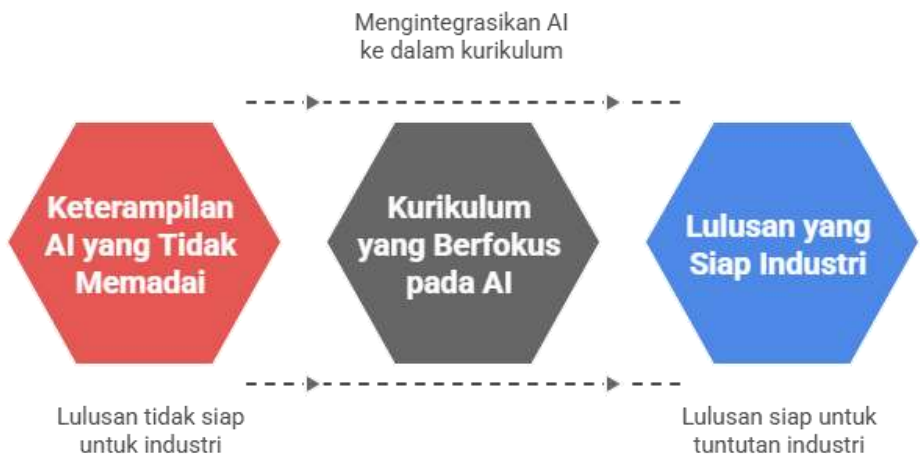


(Gambar 3.10: AI dalam mendukung kolaborasi lintas disiplin di pembelajaran modern)

AI juga memainkan peran penting dalam mendukung pengembangan keterampilan metakognitif. Dengan menyediakan umpan balik yang mendalam tentang strategi belajar siswa, AI membantu mereka merefleksikan cara berpikir

yang digunakan. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi yang difasilitasi AI mampu meningkatkan kesadaran metakognitif, sehingga siswa lebih mampu mengatur strategi belajarnya sendiri. Dengan cara ini, AI berperan bukan hanya sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai pendamping reflektif.

Selain itu, AI memperkuat relevansi pendidikan dengan dunia kerja. Divjak et al. (2025) menegaskan bahwa integrasi AI ke dalam asesmen dan pembelajaran menghasilkan lulusan dengan keterampilan asesmen, analitik, dan kolaboratif yang lebih sesuai dengan kebutuhan industri. Hal ini memperlihatkan bahwa AI menjembatani kesenjangan antara dunia akademik dan dunia kerja, menjadikan pembelajaran lebih aplikatif dan relevan.



(Gambar 3.11: Relevansi AI dalam membekali lulusan sesuai tuntutan industri modern)

AI juga berperan penting dalam mendukung inklusivitas pendidikan. Teknologi adaptif berbasis AI dapat disesuaikan untuk memenuhi kebutuhan siswa dengan berbagai latar belakang, termasuk mereka yang memiliki hambatan belajar. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi mampu meningkatkan capaian akademik dengan memperhatikan keberagaman siswa. Dengan demikian, AI memperkuat prinsip keadilan dan akses yang lebih luas dalam pendidikan modern.

Peran AI dalam pembelajaran modern juga mencakup pemantauan perkembangan keterampilan berpikir ilmiah. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menemukan bahwa pembelajaran inkuiri yang didukung teknologi meningkatkan keterampilan kontrol variabel dan pemahaman ilmiah. AI mampu memfasilitasi proses ini dengan menyediakan analitik mendalam yang membantu guru menilai kualitas penalaran ilmiah siswa. Hal ini memperkuat AI sebagai instrumen penting dalam pengembangan literasi sains.

AI juga memperluas ruang riset pendidikan. Dengan dukungan big data, AI mampu memberikan wawasan baru mengenai pola belajar, efektivitas kurikulum, hingga prediksi capaian siswa. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan dengan AI mampu meningkatkan kesadaran siswa terhadap isu global sekaligus memperkuat inovasi dalam pendidikan. Hal ini

memperlihatkan bahwa AI bukan hanya mendukung pembelajaran, tetapi juga memperkaya riset pendidikan.

Akhirnya, AI dalam pembelajaran modern dapat dipandang sebagai katalis transformasi pendidikan menuju era digital. Dengan mempersonalisasi pembelajaran, memperkuat literasi sains, membangun keterampilan digital, mendukung inklusivitas, dan memperluas riset, AI memberikan kontribusi strategis dalam menciptakan pendidikan yang lebih adaptif dan relevan (Luckin, 2025; Tlili et al., 2024; El Fathi et al., 2025). Dengan demikian, AI bukan hanya teknologi pendukung, tetapi motor penggerak utama pembelajaran modern.

3.3 Generative AI: Potensi, Peluang, dan Tantangan

Generative AI merupakan salah satu inovasi terbesar dalam perkembangan kecerdasan buatan yang berperan penting dalam pendidikan modern. Teknologi ini memungkinkan mesin menghasilkan konten baru berupa teks, gambar, audio, hingga simulasi interaktif berdasarkan data yang dilatih sebelumnya. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menegaskan bahwa generative AI memiliki potensi untuk memperkuat pemahaman konseptual siswa sekaligus memperbaiki miskonsepsi yang umum terjadi dalam pembelajaran STEM. Definisi ini memperlihatkan bahwa generative AI tidak hanya bersifat pasif, tetapi juga proaktif dalam menciptakan pengalaman belajar yang lebih kaya.

Potensi utama generative AI terletak pada kemampuannya menyediakan personalisasi pembelajaran yang mendalam. Dengan memanfaatkan data perilaku siswa, sistem dapat menghasilkan materi yang sesuai dengan gaya belajar individu. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menjelaskan bahwa pendekatan ini memungkinkan penyajian materi dalam bentuk multimodal, seperti visualisasi interaktif, penjelasan teks, maupun simulasi berbasis data. Personalisasi ini menempatkan generative AI sebagai instrumen penting dalam mewujudkan pendidikan yang adaptif dan responsif terhadap kebutuhan peserta didik.



(Gambar 3.14: Personalisasi pembelajaran melalui generative AI)

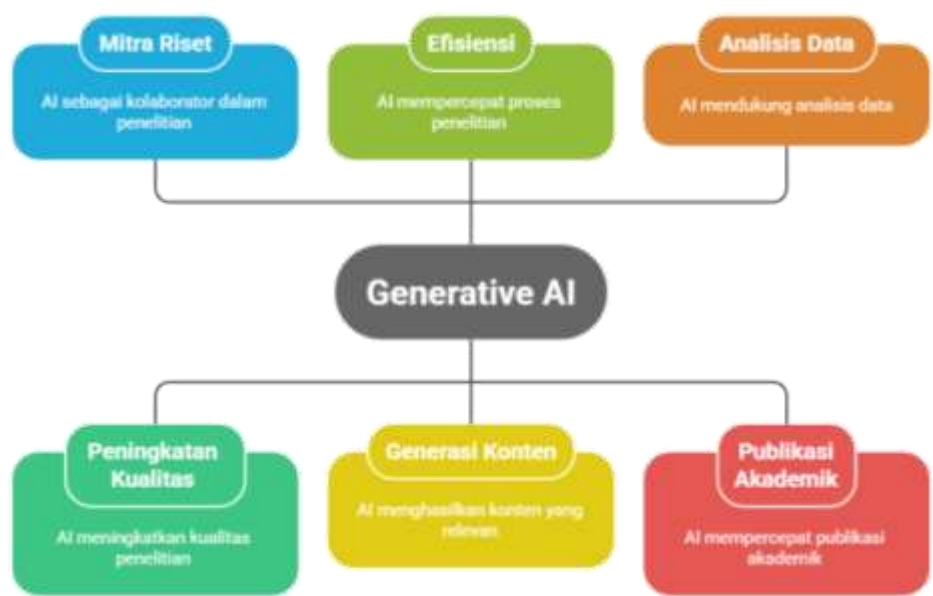
Generative AI juga membuka peluang baru dalam penciptaan konten pendidikan. Sistem seperti large language models dapat menghasilkan materi ajar, soal latihan, hingga umpan balik otomatis dengan tingkat kecepatan yang tinggi. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menunjukkan bahwa AI mampu mendukung pembelajaran berbasis proyek dengan menyediakan sumber daya yang relevan untuk investigasi mahasiswa. Dengan demikian, generative AI memperluas akses terhadap materi pendidikan sekaligus mengurangi beban kerja dosen dalam menyiapkan konten.

Selain itu, generative AI berpotensi memperkuat keterampilan berpikir kritis. Alih-alih hanya menerima informasi, siswa didorong untuk mengevaluasi, memverifikasi, dan menginterpretasi konten yang dihasilkan AI. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis laboratorium yang melibatkan AI dapat digunakan untuk menanamkan integritas, kerahasiaan, serta keadilan. Dengan demikian, generative AI bukan hanya alat pembelajaran, tetapi juga wahana untuk melatih etika akademik dan keterampilan evaluatif siswa.

Peluang lain yang ditawarkan generative AI adalah mendukung kolaborasi lintas disiplin. Dengan kemampuannya menghasilkan simulasi riset atau laporan ilmiah, AI dapat digunakan oleh mahasiswa dari berbagai bidang untuk mengembangkan proyek kolaboratif. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menegaskan bahwa pengalaman interdisipliner

memperkuat literasi ilmiah sekaligus membangun keterampilan kolaborasi. Generative AI memfasilitasi peluang ini dengan mempercepat akses informasi dan menyediakan kerangka analisis yang dapat digunakan lintas bidang.

Dalam konteks pendidikan tinggi, generative AI juga memperluas peluang publikasi akademik. Sistem AI dapat membantu mahasiswa menyusun draft artikel, memeriksa konsistensi data, hingga mengoreksi tata bahasa akademik. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa pemanfaatan AI dalam asesmen dan publikasi meningkatkan kualitas hasil akademik sekaligus mempercepat proses diseminasi pengetahuan. Hal ini menempatkan generative AI sebagai mitra strategis dalam pengembangan riset mahasiswa.



(Gambar 3.16: Generative AI sebagai mitra riset dan publikasi akademik)

Namun, potensi besar ini juga diiringi tantangan signifikan. Salah satu tantangan utama adalah validitas konten yang dihasilkan. Generative AI berpotensi menghasilkan informasi yang bias atau tidak akurat jika tidak disertai evaluasi kritis. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menegaskan bahwa paradoks berpikir analitis muncul ketika individu gagal membedakan informasi sah dengan yang keliru. Tantangan ini menunjukkan bahwa penggunaan generative AI harus selalu disertai literasi digital yang kuat.

Tantangan lain adalah persoalan etika. Penggunaan generative AI berpotensi menimbulkan isu plagiarisme, manipulasi data, hingga penyalahgunaan konten. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menjelaskan bahwa penggunaan metodologi aktif berbasis teknologi perlu diawasi dengan ketat agar tetap sesuai dengan prinsip integritas akademik. Oleh karena itu, pengintegrasian AI ke dalam pendidikan harus dilengkapi dengan kebijakan etis yang jelas dan tegas.

Selain etika, tantangan lain berkaitan dengan kesenjangan akses. Tidak semua institusi pendidikan memiliki infrastruktur teknologi yang memadai untuk memanfaatkan generative AI. Arefin, Chowdhury, dan Nishat (2025) menegaskan bahwa integrasi STEM di negara berkembang menghadapi hambatan dalam hal sumber daya teknologi dan kompetensi digital guru. Hal ini menunjukkan bahwa peluang generative AI hanya dapat

dimaksimalkan jika kesenjangan akses dapat diatasi melalui kebijakan pemerataan pendidikan digital.

Generative AI juga menghadapi tantangan dalam hal penerimaan pengguna. Tidak semua siswa dan guru siap menerima integrasi AI dalam proses belajar mengajar. El Fathi et al. (2025) menyoroti bahwa keberhasilan integrasi AI dalam STEM sangat dipengaruhi oleh tingkat penerimaan siswa terhadap teknologi. Oleh karena itu, implementasi generative AI perlu dibarengi dengan program literasi digital yang komprehensif agar pengguna lebih percaya diri memanfaatkan teknologi.



(Gambar 3.18: Faktor penerimaan siswa dalam pemanfaatan generative AI)

Meskipun demikian, generative AI tetap memiliki peluang strategis dalam mendukung pendidikan berkelanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menjelaskan bahwa proyek berbasis keberlanjutan dapat diperkuat dengan generative AI karena kemampuannya menyediakan simulasi berbasis data nyata. Hal ini membantu siswa memahami isu global seperti perubahan iklim atau keberlanjutan energi melalui pembelajaran kontekstual. Dengan demikian, generative AI memperluas cakupan pendidikan menuju pemahaman global yang lebih dalam.

Akhirnya, generative AI dapat dipandang sebagai pedang bermata dua: di satu sisi menghadirkan potensi luar biasa dalam personalisasi, kreativitas, dan kolaborasi, tetapi di sisi lain membawa tantangan terkait validitas, etika, dan kesenjangan akses. Dengan literatur mutakhir (El Fathi et al., 2025; Tlili et al., 2024; Alexander et al., 2023), generative AI harus diposisikan bukan hanya sebagai teknologi, melainkan sebagai instrumen pendidikan yang etis, adaptif, dan visioner. Dengan demikian, keberhasilan integrasinya ditentukan oleh sejauh mana dunia pendidikan mampu mengelola potensi dan tantangannya secara seimbang.

3.4 AI dalam Pembelajaran Inkuiri dan Proyek Riset

Artificial Intelligence (AI) berperan signifikan dalam memperkuat pembelajaran berbasis inkuiri dengan menghadirkan dukungan data, simulasi, dan analitik yang tidak dapat disediakan oleh metode konvensional. Inquiry-Based

Learning (IBL) menuntut peserta didik untuk mengeksplorasi, menguji hipotesis, dan menyusun argumen berbasis bukti. Integrasi AI memperkaya proses ini dengan menyediakan lingkungan digital yang mampu menampilkan simulasi fenomena ilmiah secara real time. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menunjukkan bahwa integrasi generative AI dalam pembelajaran STEM terbukti memperbaiki miskonsepsi sekaligus memperkuat pemahaman konseptual. Dengan demikian, AI menjadi katalis yang memperdalam efektivitas IBL.

Dalam konteks Proyek Riset, AI memfasilitasi mahasiswa untuk menjalankan investigasi kompleks dengan dukungan big data. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menegaskan bahwa platform project-based learning berbasis AI mampu menganalisis pola kolaborasi dan perilaku belajar mahasiswa. Fitur ini mempermudah perencanaan metodologi riset, pembagian tugas dalam tim, hingga evaluasi hasil. AI tidak hanya berperan sebagai alat bantu teknis, tetapi juga sebagai instrumen analitik yang mendorong mahasiswa berpikir sistematis dalam proyek riset.

AI juga berkontribusi pada penguatan keterampilan scientific reasoning. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menjelaskan bahwa IBL yang dipadukan dengan teknologi digital membantu meningkatkan keterampilan kontrol variabel, analisis data, dan penalaran deduktif. Ketika AI dilibatkan, kemampuan ini semakin berkembang karena siswa dapat melakukan eksperimen virtual dengan variabel kompleks

yang sulit dilakukan secara manual. Hal ini memperlihatkan bahwa AI mendukung perluasan ruang lingkup inkuiri ilmiah dalam pendidikan.

Dalam pembelajaran proyek riset, AI membantu mahasiswa untuk menghasilkan temuan yang lebih akurat. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek berbasis keberlanjutan yang didukung AI mampu meningkatkan kesadaran mahasiswa terhadap isu lingkungan global sekaligus memberikan solusi berbasis data. AI memungkinkan mahasiswa untuk mengakses basis data internasional, memodelkan fenomena, dan menyajikan analisis prediktif. Hal ini membuat proyek riset lebih relevan dengan tantangan nyata di tingkat lokal maupun global.

Peran AI dalam pembelajaran inkuiri juga mencakup pemberian umpan balik adaptif. Sistem AI mampu mendeteksi kesalahan konseptual dalam argumen siswa dan memberikan saran perbaikan secara instan. Chang, Park, dan Park (2023) menunjukkan bahwa chatbot berbasis AI dalam IBL mampu memandu siswa melalui aktivitas investigatif dengan cara yang lebih personal dan interaktif. Dengan demikian, AI mempercepat proses refleksi dan memperkuat pembentukan konsep.

Selain itu, AI berperan penting dalam mendukung penilaian berbasis proses. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menekankan bahwa asesmen dalam RPBL tidak hanya berfokus pada hasil akhir, tetapi juga proses riset yang ditempuh. AI

mendukung asesmen formatif dengan melacak aktivitas siswa, mengukur tingkat partisipasi, serta menganalisis kualitas argumen yang disusun. Hal ini memberikan gambaran lebih objektif mengenai perkembangan keterampilan riset mahasiswa.

AI juga meningkatkan keterampilan kolaborasi dalam tim riset. Platform berbasis AI memungkinkan mahasiswa untuk bekerja secara sinkron maupun asinkron, sekaligus memberikan analisis kontribusi individu terhadap tim. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menegaskan bahwa kolaborasi lintas disiplin dalam riset menjadi lebih efektif ketika didukung sistem digital berbasis AI. Dengan demikian, AI tidak hanya memperkuat aspek individual, tetapi juga menumbuhkan budaya kolaborasi ilmiah.

Peran AI dalam inkuiri dan proyek riset juga mencakup penguatan literasi digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menjelaskan bahwa integrasi AI ke dalam kurikulum sains membantu siswa memahami implikasi etis dan teknis penggunaan teknologi digital. Dalam proyek riset, mahasiswa tidak hanya menggunakan AI sebagai alat, tetapi juga belajar mengkritisi data yang dihasilkan. Hal ini menumbuhkan kesadaran kritis terhadap teknologi sekaligus membangun literasi digital yang komprehensif.

AI juga berperan dalam memperkaya refleksi metakognitif. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi dalam inkuiri menjadi lebih kuat ketika didukung teknologi yang memberikan visualisasi tentang strategi berpikir siswa. Dengan bantuan AI, mahasiswa dapat melihat pola berpikirnya sendiri

dan mengevaluasi efektivitas strategi riset yang digunakan. Hal ini membuat proses pembelajaran lebih reflektif dan terarah.

Selain itu, AI memperkuat keterhubungan antara teori dan praktik. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa integrasi model pembelajaran inovatif dengan AI meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa sekolah dasar. Jika prinsip serupa diterapkan dalam pendidikan tinggi, AI membantu mahasiswa menghubungkan teori metodologi riset dengan praktik investigasi di lapangan. Dengan demikian, AI berperan sebagai penghubung antara pengetahuan konseptual dan keterampilan praktis.

Tantangan tetap ada dalam penerapan AI pada inkuiri dan proyek riset, khususnya terkait etika akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa penggunaan AI harus disertai dengan prinsip integritas, keadilan, dan kerahasiaan. Hal ini berarti bahwa mahasiswa perlu dilatih tidak hanya dalam aspek teknis, tetapi juga dalam etika penggunaan AI. Dengan demikian, integrasi AI dalam pendidikan riset akan berhasil jika didukung dengan kebijakan dan regulasi etis yang jelas.

Akhirnya, AI dapat dipandang sebagai instrumen strategis yang memperkuat pembelajaran inkuiri dan proyek riset melalui peningkatan literasi digital, asesmen formatif, refleksi metakognitif, dan kolaborasi lintas disiplin. Dengan dukungan literatur mutakhir (El Fathi et al., 2025; Dai et al., 2025; Divjak et

al., 2025), AI ditempatkan bukan sekadar sebagai teknologi pembantu, tetapi sebagai mitra intelektual yang mampu mentransformasi cara siswa dan mahasiswa melakukan inkuiri dan riset.

3.5 Etika, Keamanan, dan Keadilan dalam Penggunaan AI di Pendidikan

Isu etika merupakan aspek fundamental dalam penggunaan Artificial Intelligence (AI) di pendidikan karena berhubungan langsung dengan integritas akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan harus menjadi prinsip utama dalam laboratorium pembelajaran berbasis AI. Penggunaan AI tanpa pertimbangan etis dapat mengarah pada ketergantungan berlebihan atau bahkan manipulasi akademik. Oleh karena itu, pemanfaatan AI dalam pendidikan harus selalu diiringi kesadaran etis agar tetap mendukung tujuan pembelajaran, bukan merusaknya.

Keamanan data juga menjadi tantangan besar ketika AI diterapkan dalam pendidikan. Sistem berbasis AI biasanya mengandalkan data besar mengenai perilaku belajar siswa. Tanpa perlindungan yang tepat, data ini berpotensi disalahgunakan untuk kepentingan komersial atau pelanggaran privasi. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menekankan pentingnya tata kelola data yang transparan untuk menjaga kerahasiaan siswa. Dalam konteks pendidikan, keamanan data tidak hanya teknis, tetapi juga etis,

karena melibatkan hak peserta didik atas privasi informasi pribadinya.

Keadilan merupakan prinsip lain yang tidak boleh diabaikan. Tidak semua institusi pendidikan memiliki akses setara terhadap teknologi AI, sehingga berpotensi menciptakan kesenjangan digital. Arefin, Chowdhury, dan Nishat (2025) menyoroti bagaimana integrasi STEM di negara berkembang menghadapi keterbatasan sumber daya digital. Hal ini memperlihatkan bahwa penerapan AI berisiko memperlebar kesenjangan antara institusi dengan fasilitas lengkap dan institusi dengan keterbatasan infrastruktur. Oleh karena itu, keadilan dalam akses AI harus menjadi prioritas kebijakan pendidikan.

Etika penggunaan AI juga berkaitan dengan validitas konten yang dihasilkan. Generative AI, meskipun memiliki potensi luar biasa, juga dapat menghasilkan informasi yang bias atau keliru. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menegaskan bahwa analisis kritis sangat penting dalam membedakan informasi sah dari informasi yang keliru. Oleh karena itu, siswa dan guru harus dibekali literasi digital yang kuat untuk memastikan bahwa penggunaan AI tetap berada dalam jalur akademik yang valid.

Selain itu, penggunaan AI di pendidikan memunculkan tantangan dalam menjaga otonomi belajar siswa. Ketergantungan pada AI berpotensi menurunkan inisiatif dan kemampuan refleksi mandiri. Luckin (2025) menekankan bahwa

AI sebaiknya diposisikan sebagai instrumen untuk menumbuhkan kecerdasan manusia, bukan sebagai pengganti kapasitas intelektual. Hal ini menegaskan bahwa etika penggunaan AI mencakup keseimbangan antara dukungan teknologi dengan kebebasan belajar siswa.

Aspek keamanan juga mencakup ancaman bias algoritmik. AI belajar dari data yang tersedia, dan jika data tersebut mengandung bias, maka hasil yang diberikan AI juga bias. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menunjukkan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi dapat meningkatkan hasil akademik, tetapi tetap harus diawasi agar tidak menciptakan ketidakadilan. Dalam konteks pendidikan, bias algoritmik dapat berakibat pada diskriminasi dalam asesmen atau rekomendasi pembelajaran.

Etika penggunaan AI juga berkaitan erat dengan aspek transparansi. Guru dan siswa perlu memahami bagaimana sistem AI bekerja, termasuk logika yang mendasari rekomendasi atau umpan balik yang diberikan. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menekankan bahwa penerimaan siswa terhadap AI sangat dipengaruhi oleh transparansi sistem. Dengan keterbukaan, AI dapat diterima bukan sebagai "kotak hitam", melainkan sebagai alat yang dapat diawasi dan dipertanggungjawabkan.

eadilan juga berkaitan dengan aksesibilitas bagi peserta didik dengan kebutuhan khusus. Conde-Izquierdo et al. (2025) menjelaskan bahwa AI dalam metodologi aktif dapat

meningkatkan inklusi jika dirancang dengan mempertimbangkan kebutuhan beragam siswa. Namun, tanpa desain yang inklusif, AI justru berisiko mengeksklusi kelompok tertentu. Oleh karena itu, keadilan dalam pendidikan berbasis AI harus memastikan semua siswa, termasuk dengan kebutuhan khusus, mendapat manfaat yang sama.

Isu keamanan lain yang penting adalah perlindungan dari penyalahgunaan AI dalam plagiarisme akademik. Generative AI dapat digunakan untuk menghasilkan teks akademik tanpa keterlibatan intelektual siswa. Hal ini bertentangan dengan prinsip integritas akademik yang harus dijaga ketat. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menekankan bahwa asesmen berbasis AI harus diimbangi dengan kebijakan anti-plagiarisme yang jelas. Dengan demikian, integrasi AI tidak melemahkan, tetapi justru memperkuat integritas pendidikan.

Etika, keamanan, dan keadilan juga perlu dijaga melalui kebijakan pendidikan yang jelas. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa kerangka kebijakan berbasis keberlanjutan sangat penting dalam mengoptimalkan penggunaan AI di pendidikan. Kebijakan yang berpihak pada akses adil, transparansi, dan keberlanjutan akan memastikan bahwa AI berfungsi sebagai alat penguat pendidikan, bukan sebaliknya.

Tantangan lain adalah bagaimana menyeimbangkan antara inovasi teknologi dengan nilai-nilai kemanusiaan. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menyoroti perlunya integrasi

etika digital ke dalam kurikulum agar siswa tidak hanya meleak teknologi, tetapi juga mampu menggunakannya secara bijak. Hal ini menegaskan bahwa pendidikan berbasis AI tidak hanya berbicara tentang teknologi, tetapi juga tentang pembentukan karakter digital yang berintegritas.

Akhirnya, AI dalam pendidikan dapat menjadi instrumen transformasi besar apabila digunakan secara etis, aman, dan adil. Dengan literatur mutakhir (Alexander et al., 2023; Tlili et al., 2024; Arefin et al., 2025), integrasi AI harus diposisikan sebagai strategi untuk memperluas akses, meningkatkan kualitas, dan menjaga keberlanjutan. Etika, keamanan, dan keadilan adalah tiga pilar yang memastikan bahwa AI benar-benar menjadi mitra pendidikan, bukan ancaman bagi masa depan belajar.

3.6 Studi Empiris Penggunaan AI dalam Pembelajaran (Global dan Nasional)

Studi empiris tentang penggunaan AI dalam pendidikan semakin banyak dilakukan, baik di level global maupun nasional. Salah satu penelitian penting dilakukan oleh El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) yang menyoroti integrasi generative AI dalam pembelajaran STEM. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa AI mampu memperbaiki miskonsepsi siswa, meningkatkan pemahaman konseptual, serta memperkuat penerimaan siswa terhadap pembelajaran digital. Studi ini menegaskan bahwa integrasi AI bukan sekadar tren, tetapi memiliki bukti empiris yang mendukung efektivitasnya dalam meningkatkan kualitas pendidikan.

Pada level global, Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) melaporkan studi tentang penerapan kurikulum etika AI di kelas literasi dan STEM. Hasilnya memperlihatkan bahwa guru dan siswa dapat memahami konsep etika digital lebih baik ketika materi tersebut disampaikan dengan bantuan AI. Temuan ini memperlihatkan bahwa AI tidak hanya berperan sebagai alat teknologi, tetapi juga sebagai instrumen pedagogis yang dapat menginternalisasi nilai-nilai etika. Hal ini menunjukkan peran strategis AI dalam mengintegrasikan teknologi dengan pendidikan karakter.

Di tingkat nasional, penelitian yang dilakukan oleh Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) memberikan bukti bahwa integrasi model pembelajaran inovatif berbasis AI dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis siswa sekolah dasar. Studi ini memperlihatkan bahwa penerapan AI dalam pembelajaran bukan hanya efektif di pendidikan tinggi, tetapi juga dapat diadaptasi di tingkat dasar. Hal ini memperluas cakupan penggunaan AI di berbagai jenjang pendidikan, dari dasar hingga universitas.

Penelitian lain yang relevan dilakukan oleh Chang, Park, dan Park (2023), yang mengevaluasi penggunaan chatbot berbasis AI dalam pembelajaran sains berbasis inkuiri. Studi tersebut menunjukkan bahwa chatbot mampu meningkatkan keterlibatan siswa, memperkuat keterampilan investigasi, dan memfasilitasi interaksi yang lebih personal. Temuan ini

memberikan gambaran bahwa AI dapat mengisi celah dalam pembelajaran tatap muka dengan menyediakan interaksi virtual yang bermakna.

Dalam konteks pendidikan tinggi global, studi oleh Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menegaskan bahwa platform pembelajaran berbasis proyek yang didukung AI mampu menganalisis pola kolaborasi mahasiswa. Hasil riset ini memperlihatkan bahwa AI memperkaya pengalaman kolaboratif lintas disiplin sekaligus memperkuat hasil riset mahasiswa. Hal ini menegaskan bahwa AI memiliki potensi besar sebagai pendukung pendidikan berbasis riset di tingkat universitas.

Selain itu, studi oleh Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menggunakan pendekatan systematic literature review untuk menilai dampak metodologi aktif berbasis teknologi, termasuk AI. Temuan mereka menunjukkan bahwa AI berkontribusi signifikan terhadap peningkatan hasil akademik dengan menumbuhkan partisipasi aktif siswa. Riset ini menekankan bahwa AI bukan hanya instrumen teknis, tetapi juga metodologis yang mampu memperkuat capaian pembelajaran berbasis aktivitas.

Di Indonesia, penelitian oleh Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) membuktikan bahwa model inkuiri berbasis neurosains yang terintegrasi dengan teknologi digital dapat membentuk sikap ilmiah siswa dalam pembelajaran fisika. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa AI, ketika diintegrasikan dalam kerangka pedagogis yang tepat, dapat

memperkuat aspek afektif dan kognitif sekaligus. Dengan demikian, bukti empiris di Indonesia mempertegas relevansi AI dalam pendidikan nasional.

Penelitian internasional lain yang patut dicatat adalah oleh Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) yang mengulas integrasi STEAM dengan berbasis AI. Studi ini memperlihatkan bahwa AI mampu memperkaya pembelajaran interdisipliner pada anak usia dini. Temuan ini menegaskan bahwa AI tidak terbatas pada pendidikan tinggi, tetapi juga dapat diadaptasi pada level prasekolah untuk menumbuhkan keterampilan literasi sains sejak dini.

Selain itu, penelitian oleh Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) pada mahasiswa tahun pertama menunjukkan bahwa AI memperkuat literasi sains dan rasa memiliki terhadap sains. Temuan ini penting karena memperlihatkan bahwa pengalaman riset berbasis AI sejak awal perkuliahan membentuk identitas akademik mahasiswa. Bukti ini semakin menegaskan peran strategis AI dalam memperkuat kualitas universitas riset di level internasional.

Penelitian oleh Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) juga menegaskan bahwa integrasi AI dalam inkuiri sains meningkatkan keterampilan kontrol variabel dan penalaran ilmiah siswa. Hasil ini memperlihatkan bahwa AI bukan sekadar alat bantu eksperimen, tetapi instrumen yang mampu memperkuat kompetensi berpikir ilmiah siswa. Studi ini

mendukung integrasi AI dalam konteks inquiry learning di berbagai jenjang pendidikan.

Selain penelitian empiris, ada juga kajian konseptual yang memperlihatkan potensi AI dalam membentuk ekosistem pendidikan yang lebih adil. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan bahwa proyek berbasis keberlanjutan yang diperkaya AI memberikan dampak signifikan dalam memperluas wawasan siswa mengenai isu global. Studi ini menunjukkan bahwa AI tidak hanya meningkatkan hasil akademik, tetapi juga membentuk kesadaran sosial dan ekologis peserta didik.

Akhirnya, studi empiris baik di level global maupun nasional memperlihatkan konsistensi temuan bahwa AI memiliki peran strategis dalam pembelajaran modern. Dengan literatur mutakhir (El Fathi et al., 2025; Fitriadi et al., 2024; Chang et al., 2023), dapat disimpulkan bahwa AI tidak hanya meningkatkan hasil akademik, tetapi juga menumbuhkan keterampilan kritis, literasi digital, kolaborasi, dan kesadaran etis. Hal ini menegaskan bahwa penggunaan AI dalam pendidikan memiliki dasar empiris yang kuat sekaligus peluang besar untuk terus dikembangkan di masa depan.

BAB IV. MODEL AI-ENHANCED INQUIRY-BASED RESEARCH PROJECT LEARNING

4.1 Desain Konseptual Model

Desain konseptual model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dibangun atas fondasi pedagogis inkuiri dan pembelajaran berbasis proyek riset yang diperkaya dengan kecerdasan buatan. Model ini mengintegrasikan kekuatan pendekatan inquiry untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan scientific reasoning dengan project-based learning yang berfokus pada penciptaan produk riset nyata. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menunjukkan bahwa integrasi generative AI dalam STEM education membantu siswa memperbaiki miskonsepsi sekaligus meningkatkan pemahaman konseptual. Dengan demikian, desain model ini menempatkan AI sebagai instrumen yang memperkuat efektivitas dua pendekatan pembelajaran inti, yakni inkuiri dan proyek riset.

Konseptualisasi model ini juga berpijak pada asumsi bahwa pembelajaran abad ke-21 menuntut integrasi teknologi digital dengan pedagogi aktif. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menekankan bahwa inquiry-based learning mampu menumbuhkan keterampilan berpikir kritis, komunikasi, dan kolaborasi yang esensial di era globalisasi. Ketika AI ditambahkan, potensi ini diperluas melalui analitik pembelajaran adaptif, personalisasi materi, serta penyediaan sumber daya

berbasis data besar. Hal ini menegaskan bahwa desain konseptual model harus berorientasi pada penguatan keterampilan abad ke-21 melalui sinergi pedagogi dan teknologi.

Model konseptual ini memposisikan AI sebagai fasilitator sekaligus mitra intelektual bagi mahasiswa. AI digunakan untuk mendukung setiap tahap inkuiri mulai dari perumusan masalah, pengumpulan data, analisis, hingga penyusunan laporan riset. Chang, Park, dan Park (2023) memperlihatkan bahwa chatbot berbasis AI mampu memberikan bimbingan personal selama aktivitas inkuiri sains, meningkatkan keterlibatan siswa, dan mempercepat proses investigasi. Temuan ini mendukung gagasan bahwa desain model harus menempatkan AI sebagai komponen interaktif yang mampu mengisi celah bimbingan dalam proses pembelajaran berbasis riset.

Lebih jauh, desain konseptual ini menekankan peran AI dalam memperkuat refleksi metakognitif. Inquiry-based learning secara alami menuntut peserta didik untuk merefleksikan proses berpikirnya. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi yang didukung teknologi mampu meningkatkan kesadaran metakognitif dan memperkaya strategi kognitif siswa. Dengan integrasi AI, mahasiswa dapat menerima visualisasi langsung mengenai pola berpikir yang digunakan, sehingga mampu menilai efektivitas strategi riset yang ditempuh. Hal ini menjadikan refleksi bukan sekadar aktivitas personal, melainkan didukung oleh analisis berbasis data.

Selain itu, desain konseptual model ini mengintegrasikan prinsip kolaborasi lintas disiplin. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menegaskan bahwa platform project-based learning berbasis AI mampu menganalisis pola kolaborasi tim riset dan memfasilitasi pembagian tugas yang lebih efektif. Dengan demikian, model ini mendukung keterampilan kolaboratif mahasiswa, baik dalam skala nasional maupun internasional. AI berfungsi sebagai katalis yang memperlancar interaksi, mencegah dominasi individu tertentu, serta memastikan distribusi peran yang adil dalam tim.

Desain konseptual ini juga memasukkan dimensi literasi digital sebagai bagian integral dari kompetensi yang ditargetkan. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi digital tidak hanya menyangkut keterampilan teknis, tetapi juga pemahaman etika penggunaan teknologi. Dalam kerangka model, AI berperan sebagai sarana untuk melatih siswa memahami bagaimana algoritma bekerja, bagaimana data diproses, serta bagaimana implikasi etis dari penggunaannya dalam riset. Dengan demikian, literasi digital menjadi outcome eksplisit dari penerapan model ini.

Konseptualisasi model ini juga memperhatikan pentingnya etika akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan perlunya prinsip integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan AI untuk pembelajaran. Oleh karena itu, desain model ini tidak hanya berfokus pada pencapaian akademik, tetapi juga membangun kesadaran etis

mahasiswa dalam memanfaatkan teknologi. Hal ini memastikan bahwa pemanfaatan AI bukan sekadar menambah efisiensi, tetapi juga membentuk karakter akademik yang berintegritas.

Selain memperkuat etika, model ini berorientasi pada inklusivitas. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menjelaskan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi mampu memperluas akses pembelajaran bagi siswa dengan berbagai latar belakang. Desain konseptual ini mengakomodasi fungsi AI sebagai instrumen inklusi, dengan menyediakan materi adaptif dan aksesibilitas digital bagi mahasiswa dengan kebutuhan khusus. Dengan demikian, model ini relevan dalam konteks pemerataan akses pendidikan tinggi.

Aspek keberlanjutan juga menjadi elemen kunci dalam desain konseptual ini. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan memberikan dampak signifikan terhadap kesadaran mahasiswa mengenai isu global. Dengan integrasi AI, mahasiswa dapat memanfaatkan data lingkungan global untuk merancang solusi berbasis sains. Model ini dengan demikian tidak hanya menyiapkan mahasiswa sebagai peneliti, tetapi juga sebagai agen perubahan sosial yang berorientasi pada keberlanjutan.

Dalam perspektif kognitif, desain konseptual model ini mendukung penguatan scientific reasoning. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) membuktikan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan keterampilan berpikir analitis. AI memperkuat aspek ini dengan menyediakan data

simulasi dan analitik prediktif untuk memperdalam investigasi ilmiah mahasiswa. Hal ini menegaskan bahwa model ini mampu mengintegrasikan dimensi kognitif dan teknologi dalam mendukung keterampilan riset.

Model konseptual ini juga memperhatikan peran dosen sebagai fasilitator. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa integrasi AI dalam pendidikan tinggi mendorong dosen berperan sebagai pembimbing yang memfasilitasi riset mahasiswa, bukan hanya penyampai informasi. Dalam kerangka model ini, dosen didukung AI untuk memberikan umpan balik lebih akurat, memonitor progres riset, dan memastikan kualitas akademik tetap terjaga. Dengan demikian, desain model tidak menggeser peran dosen, melainkan memperkuatnya.

Desain konseptual model juga berlandaskan pada pendekatan neurosains pendidikan. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) membuktikan bahwa model inkuiri berbasis neurosains mampu membentuk sikap ilmiah siswa melalui aktivasi otak yang mendukung pengambilan keputusan. Integrasi AI ke dalam kerangka ini memperkuat hubungan antara teori neurosains dan praktik pendidikan dengan menyediakan data tentang pola belajar mahasiswa. Hal ini menjadikan model lebih berakar pada bukti ilmiah lintas disiplin.

Akhirnya, desain konseptual AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dapat dipandang sebagai kerangka yang menghubungkan pedagogi, teknologi, etika, inklusivitas,

dan keberlanjutan. Dengan dukungan literatur mutakhir (El Fathi et al., 2025; Chu et al., 2017; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), model ini tidak hanya memperkaya praktik pembelajaran, tetapi juga memberikan kontribusi signifikan bagi pengembangan teori pendidikan. Konseptualisasi ini sekaligus memperlihatkan bagaimana AI dapat diposisikan sebagai mitra strategis dalam transformasi pendidikan tinggi menuju era digital yang beretika, inklusif, dan berkelanjutan.

4.1.1 Landasan Filosofis

Landasan filosofis dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning berpijak pada filsafat konstruktivisme yang menekankan bahwa pengetahuan dibangun melalui interaksi aktif antara individu dan lingkungannya. Inquiry-Based Learning (IBL) memiliki akar yang kuat dalam konstruktivisme Piaget yang berfokus pada proses asimilasi dan akomodasi sebagai mekanisme pembentukan skema kognitif. Lieskovský dan Sunyík (2022) menunjukkan bahwa intervensi berbasis inkuiri efektif memperbaiki sikap ilmiah dan meningkatkan keterampilan penalaran siswa. Dengan menambahkan AI, konstruktivisme diperluas ke ranah digital di mana siswa membangun pengetahuan melalui interaksi dengan data, simulasi, dan umpan balik adaptif.

Selain konstruktivisme, model ini juga berdasar pada filsafat pragmatisme John Dewey yang menekankan pembelajaran melalui pengalaman langsung. Dewey melihat inkuiri sebagai sarana utama pendidikan yang menyiapkan siswa

untuk menghadapi persoalan nyata kehidupan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan orientasi keberlanjutan menghasilkan kesadaran kritis dan kemampuan memecahkan masalah nyata. Integrasi AI semakin memperkaya pragmatisme ini dengan memungkinkan siswa mengeksplorasi simulasi dunia nyata secara lebih luas dan berbasis data besar.

Filsafat humanisme juga menjadi fondasi penting dalam desain model ini. Humanisme menekankan perkembangan potensi manusia secara optimal melalui pendidikan. Dalam konteks AI, humanisme menuntut agar teknologi berfungsi untuk memperkuat kapasitas intelektual dan moral siswa, bukan menggantikannya. Luckin (2025) menegaskan bahwa AI harus ditempatkan sebagai instrumen yang menumbuhkan kecerdasan manusia di era digital. Oleh karena itu, landasan filosofis model ini mengedepankan prinsip bahwa AI berfungsi sebagai mitra intelektual yang memperluas kapasitas manusia, sejalan dengan visi pendidikan humanistik.

Landasan filosofis lain yang relevan adalah filsafat kritis, khususnya dalam konteks keadilan sosial dan literasi digital. Pendidikan abad ke-21 tidak hanya menekankan keterampilan kognitif, tetapi juga kesadaran kritis terhadap isu etika dan ketidaksetaraan digital. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan pentingnya integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam laboratorium pembelajaran berbasis AI. Hal ini menunjukkan bahwa model harus memiliki basis kritis yang

mendorong peserta didik untuk memahami, menilai, dan mengarahkan penggunaan teknologi secara etis dan adil.

Filsafat progresivisme juga tercermin dalam model ini, yang menekankan pendidikan sebagai sarana perubahan sosial. Inquiry dan project learning secara alami mendorong peserta didik untuk terlibat aktif dalam pemecahan masalah komunitas. Ketika dipadukan dengan AI, progresivisme menemukan bentuk baru dalam mendorong inovasi sosial berbasis data. Rapi, Sujanem, Yasmini, dan Setemen (2025) menjelaskan bahwa model inkuiri dengan asesmen proyek dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis sekaligus memberikan kontribusi pada isu-isu pendidikan. Dengan demikian, progresivisme menjadi landasan filosofis yang menjadikan AI sebagai pendorong perubahan sosial.

Filsafat eksistensialisme juga memberi kontribusi penting dengan menekankan kebebasan individu dalam menentukan arah pembelajarannya. Inquiry-Based Learning memberikan ruang bagi siswa untuk mengajukan pertanyaan sesuai minat, sementara project learning memungkinkan mereka memilih strategi penyelesaian masalah. AI memperkuat prinsip eksistensialisme ini dengan menyediakan personalisasi pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan individu. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menegaskan bahwa AI memungkinkan kurikulum lebih dinamis dan responsif terhadap perbedaan individu. Hal ini

memperlihatkan bahwa eksistensialisme tetap relevan dalam konteks pendidikan berbasis AI.

Landasan filosofis berikutnya adalah rekonstruksionisme yang menekankan pendidikan sebagai sarana untuk membangun masyarakat yang lebih baik. Model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning mendukung rekonstruksionisme dengan menyiapkan peserta didik menjadi agen perubahan melalui riset berbasis data yang berorientasi pada isu-isu global. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menunjukkan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi mampu meningkatkan hasil akademik sekaligus menginternalisasi nilai keberlanjutan. Dengan demikian, rekonstruksionisme dalam model ini memperkuat peran pendidikan sebagai instrumen transformasi sosial.

Dalam perspektif filsafat sains, model ini berpijak pada epistemologi empirisme yang menekankan pentingnya data dan pengalaman nyata sebagai sumber pengetahuan. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menunjukkan bahwa pembelajaran inkuiri berbasis teknologi meningkatkan keterampilan kontrol variabel dan pemahaman ilmiah siswa. Integrasi AI memperluas epistemologi empirisme dengan memberikan akses pada data besar dan simulasi kompleks yang tidak dapat dicapai melalui eksperimen manual. Hal ini menegaskan bahwa empirisme menjadi pilar penting dalam desain model.

Filsafat rasionalisme juga relevan karena AI berfungsi melalui algoritma logis yang didasarkan pada prinsip deduktif. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menegaskan bahwa berpikir analitis adalah inti dari literasi ilmiah yang dapat diperkuat melalui integrasi AI. Dengan demikian, rasionalisme menyediakan kerangka filosofis yang memastikan bahwa AI digunakan untuk memperkuat kemampuan berpikir logis dan analitis dalam pembelajaran inkuiri dan proyek riset.

Landasan filosofis model ini juga mencakup perspektif teleologis, yang menekankan tujuan pendidikan jangka panjang. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menjelaskan bahwa pengalaman riset interdisipliner memperkuat literasi sains sekaligus membangun rasa memiliki terhadap sains. Dalam kerangka model ini, AI diposisikan sebagai sarana untuk mencapai tujuan pendidikan berkelanjutan, yaitu mencetak lulusan yang kritis, beretika, dan berorientasi pada kontribusi global. Dengan demikian, teleologi pendidikan menjadi arah filosofis yang menjiwai model ini.

Selain itu, filsafat fenomenologi memberikan perspektif penting terhadap pengalaman belajar. Inquiry-Based Learning menekankan pengalaman langsung siswa dalam membangun pengetahuan, sementara project learning memperluas pengalaman tersebut menjadi karya nyata. AI memperkaya fenomenologi ini dengan menghadirkan simulasi interaktif yang memungkinkan pengalaman belajar lebih luas dan mendalam. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menunjukkan bahwa integrasi

AI dalam STEAM education memperkuat pengalaman pembelajaran sejak usia dini. Hal ini menegaskan bahwa fenomenologi berperan sebagai fondasi penting dalam model ini.

Landasan filosofis terakhir yang menopang model ini adalah etika pendidikan yang menekankan tanggung jawab sosial. Pendidikan berbasis AI harus menjamin bahwa teknologi digunakan untuk meningkatkan kualitas hidup manusia dan bukan sebaliknya. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menekankan bahwa asesmen berbasis AI dalam pendidikan tinggi harus mempertahankan transparansi, integritas, dan keadilan. Dengan demikian, etika pendidikan memastikan bahwa desain model ini selalu berpihak pada kemanusiaan.

Akhirnya, landasan filosofis dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning merupakan perpaduan antara konstruktivisme, pragmatisme, humanisme, kritisisme, progresivisme, eksistensialisme, rekonstruksionisme, empirisme, rasionalisme, teleologi, fenomenologi, dan etika pendidikan. Dengan dukungan literatur mutakhir (El Fathi et al., 2025; Luckin, 2025; Chu et al., 2017), model ini tidak hanya memiliki dasar teknologis, tetapi juga filosofis yang kokoh. Integrasi berbagai aliran filsafat ini menegaskan bahwa pendidikan berbasis AI harus bersifat holistik, berakar pada teori, dan berorientasi pada pembentukan manusia seutuhnya.

4.1.2 Landasan Psikologis dan Pedagogis

Landasan psikologis dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning berakar pada teori perkembangan kognitif Piaget yang menekankan pentingnya keterlibatan aktif peserta didik dalam membangun pengetahuan. Menurut Piaget, pembelajaran terjadi melalui proses asimilasi dan akomodasi yang memungkinkan individu menyesuaikan skema kognitifnya. Lieskovský dan Sunyík (2022) membuktikan bahwa intervensi berbasis inkuiri meningkatkan keterampilan penalaran ilmiah siswa dengan memanfaatkan mekanisme ini. Ketika AI diintegrasikan, proses asimilasi diperkaya dengan akses data besar dan simulasi digital yang mempercepat restrukturisasi skema kognitif.

Selain teori Piaget, pandangan Vygotsky mengenai Zone of Proximal Development (ZPD) menjadi fondasi penting. Vygotsky menekankan bahwa interaksi sosial dan scaffolding merupakan kunci perkembangan kognitif. Inquiry-Based dan Project Learning menyediakan kerangka kolaboratif di mana siswa bekerja sama menyelesaikan masalah. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menegaskan bahwa pendekatan inkuiri berbasis kolaborasi memperkuat literasi sains dan keterampilan komunikasi. AI memperluas konsep scaffolding dengan menyediakan bimbingan adaptif melalui chatbot, analitik belajar, dan rekomendasi otomatis, sehingga ZPD tercapai lebih efektif.

Landasan psikologis lain berasal dari teori metakognisi yang menekankan kesadaran diri terhadap proses berpikir. Inquiry-Based Learning secara alami mendorong refleksi, dan integrasi AI memperkaya refleksi tersebut dengan menyediakan visualisasi strategi berpikir. Pasigon (2024) menunjukkan bahwa refleksi berbasis teknologi meningkatkan kesadaran metakognitif siswa. Dalam desain model ini, AI diposisikan sebagai fasilitator reflektif yang membantu mahasiswa memahami pola berpikirnya sendiri sekaligus menyesuaikan strategi belajar.

Selain landasan psikologis, model ini juga berpijak pada prinsip pedagogis konstruktivisme sosial. Pembelajaran berbasis proyek dan inkuiri menempatkan mahasiswa sebagai subjek aktif yang mengonstruksi pengetahuan melalui pengalaman nyata. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan analisis dan argumentasi ilmiah. AI memperluas konstruktivisme sosial dengan menghadirkan data empiris yang kaya serta simulasi digital yang mendukung investigasi.

Model ini juga berlandaskan teori experiential learning dari Kolb, yang menekankan siklus pembelajaran melalui pengalaman konkret, refleksi, konseptualisasi, dan eksperimen aktif. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa project-based learning yang berorientasi pada keberlanjutan mendorong siswa mengalami siklus tersebut dalam konteks nyata. AI mempercepat siklus ini dengan

memberikan simulasi pengalaman serta umpan balik adaptif yang mendukung konseptualisasi teori sekaligus pengujian praktis.

Dari perspektif pedagogis, prinsip student-centered learning menjadi pilar utama model ini. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menjelaskan bahwa AI mendukung kurikulum adaptif yang berpusat pada kebutuhan siswa. Inquiry-Based Project Learning yang diperkaya AI memberikan ruang bagi mahasiswa untuk menentukan jalur belajarnya sendiri, sekaligus mendapatkan dukungan teknologi yang mempersonalisasi pengalaman belajar. Hal ini menjadikan pembelajaran lebih relevan dan bermakna.

Selain itu, teori motivasi belajar juga menjadi bagian penting dari landasan psikologis. Menurut pendekatan self-determination theory, motivasi intrinsik siswa meningkat ketika otonomi, kompetensi, dan keterhubungan sosial terpenuhi. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menemukan bahwa model pembelajaran inovatif mampu meningkatkan motivasi siswa dengan menekankan aspek tersebut. AI memperkuat motivasi dengan memberikan umpan balik personal dan menciptakan pengalaman belajar yang interaktif, sehingga motivasi intrinsik lebih mudah terjaga.

Landasan pedagogis lain terletak pada problem-based pedagogy yang mendorong siswa belajar melalui penyelesaian masalah nyata. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom

(2022) menunjukkan bahwa guided inquiry memperkuat kemampuan mengontrol variabel eksperimen dalam pembelajaran sains. Integrasi AI memperkuat pendekatan ini dengan menyediakan masalah berbasis simulasi digital, data kompleks, serta alat analitik prediktif yang memperkaya pengalaman pemecahan masalah.

Model ini juga memiliki basis pedagogis pada literasi digital abad ke-21. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menekankan bahwa literasi digital yang terintegrasi dengan etika AI membantu siswa memahami implikasi teknologi dalam pendidikan. Dalam kerangka ini, AI bukan hanya diperlakukan sebagai alat, tetapi juga sebagai media untuk melatih kesadaran etis dan kemampuan literasi digital. Hal ini memastikan bahwa mahasiswa tidak hanya terampil secara teknis, tetapi juga bertanggung jawab secara sosial.

Selain itu, landasan psikologis model ini mencakup teori cognitive load, yang menekankan keterbatasan kapasitas memori kerja dalam memproses informasi. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa asesmen berbasis AI dapat membantu mengurangi beban kognitif dengan menyediakan umpan balik otomatis dan scaffolding yang tepat. Dengan demikian, AI membantu mahasiswa fokus pada proses berpikir tingkat tinggi, bukan sekadar beban mekanis dalam memahami materi.

Dalam perspektif pedagogis, kolaborasi menjadi prinsip penting yang diperkuat dalam model ini. Rissanen, Hoang, dan

Spila (2023) menemukan bahwa pengalaman riset interdisipliner memperkuat rasa memiliki terhadap sains sekaligus menumbuhkan keterampilan kolaboratif. AI berfungsi sebagai mediator kolaborasi dengan menyediakan platform digital yang memungkinkan komunikasi lintas disiplin, analisis kontribusi individu, serta penyelesaian masalah kolektif. Dengan demikian, pedagogi kolaboratif diperkuat melalui integrasi teknologi cerdas.

Akhirnya, integrasi landasan psikologis dan pedagogis dalam model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning membentuk kerangka yang holistik. Dengan dukungan literatur mutakhir (Piaget, Vygotsky, Kolb, hingga penelitian kontemporer seperti El Fathi et al., 2025; Tlili et al., 2024), model ini memastikan bahwa AI tidak hanya ditempatkan sebagai instrumen teknologi, tetapi juga sebagai fasilitator pedagogis yang mendukung perkembangan kognitif, metakognitif, motivasional, dan sosial. Hal ini menegaskan bahwa fondasi psikologis dan pedagogis menjadi inti dari desain model yang visioner.

4.1.3 Landasan Teknologis

Landasan teknologis dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning berpijak pada perkembangan kecerdasan buatan (AI) sebagai instrumen yang mampu memperluas cakrawala pembelajaran. AI tidak hanya dipandang sebagai perangkat lunak cerdas, tetapi sebagai ekosistem teknologi yang menggabungkan machine learning, deep

learning, dan big data analytics. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menekankan bahwa integrasi AI dalam pendidikan menciptakan kurikulum adaptif yang mampu merespons kebutuhan individu secara real time. Oleh karena itu, basis teknologi dari model ini berfokus pada kapasitas AI dalam menyesuaikan konten dan pengalaman belajar sesuai profil peserta didik.

Selain AI, integrasi big data menjadi landasan penting. Pendidikan modern menghasilkan data besar dari interaksi siswa, asesmen digital, hingga aktivitas proyek. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menunjukkan bahwa platform project-based learning berbasis AI dapat menganalisis pola kolaborasi mahasiswa secara detail. Dengan analisis big data, model ini memungkinkan evaluasi mendalam terhadap dinamika pembelajaran, sehingga perancangan kegiatan riset menjadi lebih terukur dan efektif. Teknologi ini menempatkan data sebagai sumber pengetahuan baru yang memperkuat pengambilan keputusan pedagogis.

Teknologi generative AI juga menjadi pondasi utama dalam desain model ini. Generative AI berperan dalam menciptakan konten pembelajaran, seperti simulasi eksperimen, visualisasi data, hingga penyusunan laporan riset. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menjelaskan bahwa integrasi generative AI dalam STEM mampu memperkaya pemahaman konseptual siswa sekaligus mengoreksi miskonsepsi. Dengan demikian, teknologi ini tidak hanya

mendukung aspek penyampaian informasi, tetapi juga memperluas kapasitas kreativitas dalam inkuiri dan proyek riset.

Landasan teknologis berikutnya berkaitan dengan literasi digital yang diperkuat melalui teknologi AI. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi digital berbasis etika AI membantu peserta didik memahami implikasi sosial, etis, dan akademis dari penggunaan teknologi. Dalam konteks model ini, AI digunakan tidak hanya untuk tujuan instruksional, tetapi juga untuk menanamkan keterampilan literasi digital yang berkelanjutan. Hal ini menjadikan literasi digital sebagai dimensi integral dari pembelajaran berbasis teknologi.

Keamanan data juga menjadi aspek fundamental dari landasan teknologi. Sistem AI membutuhkan akses terhadap data pribadi dan akademik peserta didik untuk menyediakan pembelajaran adaptif. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan harus menjadi prioritas dalam penggunaan laboratorium AI. Oleh karena itu, desain teknologi dalam model ini memperhatikan aspek enkripsi data, transparansi algoritma, dan kebijakan privasi untuk melindungi peserta didik.

Selain keamanan, inklusivitas digital menjadi komponen krusial. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi dapat meningkatkan hasil akademik hanya jika aksesibilitas diperhatikan. Oleh karena itu, landasan teknologi model ini

dirancang agar mampu diimplementasikan secara inklusif, baik melalui perangkat keras dengan spesifikasi beragam maupun platform digital yang ramah bagi peserta didik dengan kebutuhan khusus.

Teknologi learning analytics juga menjadi bagian dari kerangka dasar model. Learning analytics memungkinkan pengukuran kemajuan, identifikasi kesulitan, serta evaluasi strategi pembelajaran dengan berbasis data. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa asesmen berbasis AI memberikan keunggulan dalam melacak perkembangan peserta didik secara detail. Dengan landasan ini, model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dirancang untuk memberikan umpan balik adaptif yang relevan dan personal.

Selain learning analytics, teknologi immersive learning seperti realitas virtual (VR) dan augmented reality (AR) juga dapat menjadi pelengkap. Chang, Park, dan Park (2023) menunjukkan bahwa chatbot dan simulasi berbasis AI mampu meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses investigasi sains. Teknologi ini memperkuat pembelajaran berbasis pengalaman dengan menciptakan lingkungan belajar yang lebih nyata dan menarik, sekaligus mendukung investigasi ilmiah yang sulit dilakukan di laboratorium fisik.

Teknologi neurosains pendidikan juga menjadi relevan dalam kerangka ini. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) membuktikan bahwa model inkuiri berbasis neurosains mampu membentuk sikap ilmiah melalui aktivasi kognitif yang

terukur. Integrasi AI memungkinkan pengolahan data neurosains, seperti pola perhatian dan keterlibatan siswa, untuk merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif. Dengan demikian, model ini menggabungkan landasan psikologis dan teknologis dalam satu kerangka yang utuh.

Landasan teknologis ini juga memperhatikan risiko bias algoritmik. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) memperingatkan bahwa bias dalam data dapat memengaruhi validitas output AI. Oleh karena itu, model ini menekankan penggunaan algoritma transparan, data yang representatif, serta pengawasan manusia dalam proses analisis. Hal ini bertujuan untuk menjaga objektivitas pembelajaran dan mengurangi risiko diskriminasi akademik.

Selain aspek teknis, landasan teknologi juga melibatkan integrasi keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek pembelajaran berbasis keberlanjutan dapat diperkuat dengan data dan simulasi yang disediakan AI. Teknologi digunakan untuk memperkaya konteks riset, sehingga mahasiswa tidak hanya menyelesaikan proyek akademik, tetapi juga memahami implikasi global dari penelitian yang dilakukan.

Pada akhirnya, landasan teknologis model ini bertujuan menghubungkan instrumen AI dengan praktik pedagogis. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) membuktikan bahwa model pembelajaran inovatif berbasis teknologi mampu meningkatkan keterampilan

berpikir kritis. Dengan integrasi AI, big data, literasi digital, keamanan, inklusivitas, learning analytics, hingga teknologi neurosains, model ini memiliki fondasi teknologi yang kuat, visioner, dan berkelanjutan.

4.2 Sintaks Model (Tahap demi Tahap)

4.2.1 Orientasi pada Masalah

Tahap orientasi pada masalah merupakan langkah awal dalam sintaks AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning yang menentukan arah keseluruhan proses pembelajaran. Orientasi ini berfokus pada pengenalan masalah kontekstual yang relevan dengan kehidupan nyata dan menantang mahasiswa untuk berpikir kritis. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa inkuiri berbasis bukti efektif meningkatkan keterampilan penalaran ilmiah siswa dengan menghubungkan pembelajaran pada persoalan nyata. Dalam konteks ini, AI berperan untuk menyajikan masalah melalui simulasi digital, data empiris, atau skenario interaktif yang memperkuat relevansi dan daya tarik masalah yang dikaji.

Orientasi pada masalah juga bertujuan membangun motivasi intrinsik mahasiswa. Menurut self-determination theory, motivasi meningkat ketika siswa merasa memiliki kendali terhadap proses belajar dan melihat keterkaitan antara materi yang dipelajari dengan kehidupan mereka. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) membuktikan bahwa model pembelajaran inovatif yang

menekankan pemecahan masalah mampu meningkatkan keterampilan berpikir kritis sekaligus motivasi belajar. AI mendukung proses ini dengan memberikan data kontekstual dan personalisasi tantangan sehingga mahasiswa merasa lebih terlibat sejak tahap awal pembelajaran.

Pada tahap ini, dosen berperan sebagai fasilitator yang membantu mahasiswa memahami konteks permasalahan. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa AI dapat berfungsi sebagai pendamping asesmen formatif yang membantu dosen mengevaluasi kesiapan mahasiswa menghadapi permasalahan yang diangkat. Chatbot berbasis AI, misalnya, dapat memberikan arahan awal, mengajukan pertanyaan pemantik, atau memberikan contoh kasus yang relevan. Dengan cara ini, orientasi masalah tidak hanya menjadi pengantar, tetapi juga sarana untuk mengukur kesiapan intelektual mahasiswa.

Tahap orientasi juga berfungsi menumbuhkan kesadaran etis dan literasi digital. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan pentingnya integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan AI di laboratorium pembelajaran. Dengan memanfaatkan AI sejak tahap orientasi, mahasiswa dapat diperkenalkan pada prinsip etis penggunaan teknologi dalam penelitian dan pembelajaran. Hal ini penting agar penyelesaian masalah tidak hanya mengutamakan aspek teknis, tetapi juga memperhatikan dimensi moral dan sosial.

Selain aspek etis, tahap orientasi masalah juga menekankan kolaborasi awal. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menunjukkan bahwa pengalaman interdisipliner dalam riset mampu meningkatkan literasi sains sekaligus membangun rasa memiliki terhadap proses ilmiah. Dalam tahap orientasi, AI dapat membantu membentuk kelompok belajar yang seimbang dengan menganalisis profil mahasiswa, kemampuan awal, serta minat riset. Hal ini memastikan setiap tim memiliki komposisi yang mendukung keberhasilan kolaborasi sejak awal.

Orientasi masalah juga perlu mempertimbangkan keberlanjutan sebagai dimensi penting. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan meningkatkan kesadaran mahasiswa terhadap isu-isu global. Dengan bantuan AI, masalah yang diangkat dapat dihubungkan dengan data lingkungan, sosial, atau ekonomi yang aktual. Hal ini memperkuat orientasi masalah agar mahasiswa mampu melihat keterkaitan langsung antara riset yang dilakukan dengan kontribusinya terhadap pembangunan berkelanjutan.

Landasan psikologis tahap orientasi juga melibatkan peran ZPD dari Vygotsky. Inquiry-Based Learning memungkinkan mahasiswa bekerja dalam zona perkembangan terdekat ketika diberikan masalah yang menantang tetapi masih dapat diselesaikan dengan bimbingan. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menegaskan bahwa inkuiri berbasis kolaborasi mendukung perkembangan keterampilan abad ke-

21. AI memperluas scaffolding ini dengan menyediakan bimbingan otomatis, rekomendasi sumber, atau umpan balik adaptif sehingga mahasiswa tetap berada dalam ZPD yang optimal.

Orientasi masalah dalam model ini juga menekankan pada kemampuan scientific reasoning. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) membuktikan bahwa pembelajaran inkuiri yang dipandu teknologi memperkuat kemampuan siswa dalam mengontrol variabel eksperimen. Dengan dukungan AI, mahasiswa dapat diperkenalkan pada data eksperimen simulatif yang memungkinkan eksplorasi awal tanpa keterbatasan laboratorium fisik. Hal ini memperkaya pemahaman konsep sebelum memasuki tahap eksperimen nyata.

Tahap orientasi juga memiliki dimensi afektif, di mana rasa ingin tahu mahasiswa harus dibangkitkan. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menjelaskan bahwa generative AI berperan dalam menciptakan pengalaman belajar interaktif yang mampu memotivasi siswa untuk lebih terlibat. Dengan memanfaatkan simulasi berbasis AI, orientasi masalah dapat dikemas lebih menarik, sehingga mahasiswa terdorong untuk melakukan investigasi lebih lanjut.

Selain itu, tahap orientasi membantu mahasiswa memahami relevansi riset dengan dunia kerja. Divjak et al. (2025) menegaskan bahwa integrasi AI dalam asesmen meningkatkan keterhubungan antara pendidikan tinggi dan kebutuhan industri. Pada tahap orientasi, masalah yang dipilih

dapat dikontekstualisasikan dengan isu-isu industri modern, sehingga mahasiswa melihat manfaat langsung dari pembelajaran riset. Dengan cara ini, motivasi eksternal mahasiswa juga diperkuat.

Tahap orientasi juga dapat dimanfaatkan untuk membangun sikap inklusif dalam riset. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi harus mempertimbangkan aksesibilitas bagi semua peserta didik. AI memungkinkan pengolahan data preferensi belajar mahasiswa untuk menyusun strategi pembelajaran yang ramah bagi mahasiswa dengan kebutuhan khusus. Dengan demikian, tahap orientasi sejak awal sudah menanamkan nilai keadilan dalam proyek riset.

Pada akhirnya, orientasi pada masalah dalam model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning bukan hanya sekadar tahap awal, tetapi fondasi yang menentukan keberhasilan tahap-tahap berikutnya. Dengan dukungan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Tlili et al., 2024; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), tahap ini dirancang untuk membangkitkan motivasi, memperkuat keterampilan berpikir kritis, membangun kolaborasi, serta menanamkan nilai etika dan keberlanjutan. Hal ini memastikan bahwa mahasiswa memulai perjalanan riset dengan pemahaman yang kuat, komitmen etis, dan motivasi tinggi.

4.2.2 Identifikasi dan Formulasi Masalah

Tahap identifikasi dan formulasi masalah merupakan inti dari sintaks pembelajaran berbasis inkuiri yang diperkuat dengan AI. Pada tahap ini, mahasiswa diajak mengenali masalah penelitian dari konteks nyata, kemudian merumuskannya dalam bentuk pertanyaan riset yang jelas, terukur, dan dapat diuji. Menurut Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018), keterampilan mengidentifikasi masalah berbasis bukti sangat penting untuk memperkuat scientific reasoning. AI mendukung tahap ini dengan menghadirkan data empiris, tren global, serta analisis otomatis yang memperkaya perspektif mahasiswa dalam menemukan masalah yang relevan.

Identifikasi masalah juga menekankan pada keterhubungan antara fenomena lokal dan isu global. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menjelaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek dengan perspektif keberlanjutan mendorong mahasiswa untuk melihat keterkaitan persoalan yang mereka hadapi dengan tantangan dunia. AI memperluas jangkauan ini dengan menyediakan akses pada data lintas disiplin, termasuk isu lingkungan, ekonomi, dan sosial, sehingga mahasiswa dapat mengidentifikasi masalah dengan dimensi global. Dengan cara ini, identifikasi masalah tidak bersifat sempit, tetapi berakar pada pemahaman multidimensi.

Formulasi masalah membutuhkan keterampilan merumuskan pertanyaan penelitian yang tajam. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menegaskan bahwa guided

inquiry memperkuat keterampilan siswa dalam mengontrol variabel eksperimen, sebuah kompetensi yang hanya dapat muncul jika pertanyaan penelitian dirumuskan dengan tepat. Dalam kerangka model ini, AI membantu mahasiswa menyusun pertanyaan penelitian dengan memberikan umpan balik otomatis mengenai kejelasan, keterukuran, serta relevansi pertanyaan yang dirumuskan. Hal ini mempercepat proses formulasi dan meningkatkan akurasi riset.

Landasan pedagogis pada tahap ini juga berhubungan dengan teori metakognisi. Pasigon (2024) menjelaskan bahwa refleksi kognitif sangat penting dalam merumuskan masalah riset yang bermakna. Integrasi AI memperkuat refleksi ini dengan memberikan analitik visual tentang kejelasan dan kedalaman pertanyaan yang diajukan mahasiswa. Dengan demikian, proses formulasi masalah tidak hanya menjadi aktivitas intelektual, tetapi juga sarana pengembangan kesadaran diri akademik.

Identifikasi masalah dalam pendidikan tinggi juga dipengaruhi oleh peran kolaborasi. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menegaskan bahwa pengalaman riset interdisipliner memperkuat literasi sains sekaligus meningkatkan rasa memiliki terhadap proses riset. Dalam tahap ini, AI berperan sebagai fasilitator yang membantu tim riset menemukan kesepakatan melalui analisis preferensi, kemampuan, dan minat. Dengan demikian, masalah yang diformulasikan mencerminkan kontribusi kolektif tim, bukan hanya hasil pemikiran individu.

Aspek etika juga menjadi pertimbangan dalam identifikasi dan formulasi masalah. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan perlunya integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam pembelajaran berbasis AI. Oleh karena itu, mahasiswa diarahkan untuk memilih masalah yang tidak hanya penting secara akademik, tetapi juga etis dan berdampak sosial. AI dapat membantu dengan mendeteksi potensi bias atau isu sensitif dalam perumusan masalah, sehingga arah penelitian tetap selaras dengan prinsip keadilan akademik.

Formulasi masalah juga terkait erat dengan literasi digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menunjukkan bahwa kurikulum etika AI memperkuat pemahaman siswa tentang tanggung jawab penggunaan teknologi. Dengan memanfaatkan AI, mahasiswa belajar mengidentifikasi masalah dari data digital yang kompleks, sekaligus menilai validitas dan keabsahan sumber informasi. Literasi digital ini penting agar formulasi masalah tidak sekadar berdasarkan asumsi, tetapi pada data yang dapat diverifikasi.

Selain itu, tahap identifikasi masalah menekankan pentingnya keberlanjutan riset. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menunjukkan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi mampu meningkatkan hasil akademik ketika masalah yang dipilih relevan dan berkelanjutan. Oleh karena itu, AI berperan menyaring masalah berdasarkan urgensi, dampak, serta kontribusi jangka panjang. Hal ini memastikan bahwa riset

yang dilakukan tidak hanya akademis, tetapi juga aplikatif bagi masyarakat.

Identifikasi masalah juga mencakup aspek psikologis motivasi belajar. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) membuktikan bahwa pembelajaran berbasis masalah meningkatkan keterlibatan siswa secara emosional. AI mendukung keterlibatan ini dengan menyesuaikan kompleksitas masalah sesuai tingkat kesiapan mahasiswa. Hal ini menciptakan tantangan optimal yang menjaga motivasi intrinsik sekaligus memperkuat komitmen mahasiswa terhadap riset yang dilakukan.

Formulasi masalah pada akhirnya harus menghasilkan pertanyaan penelitian yang spesifik, relevan, dan dapat diuji. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa asesmen berbasis AI memungkinkan pengukuran ketepatan formulasi masalah melalui analisis logis. Dengan integrasi AI, mahasiswa dapat menerima rekomendasi untuk memperbaiki perumusan pertanyaan, menghindari kesalahan konseptual, serta memastikan fokus penelitian tetap terjaga. Hal ini menegaskan bahwa formulasi masalah menjadi tahap strategis yang menentukan kualitas keseluruhan riset.

Akhirnya, tahap identifikasi dan formulasi masalah dalam model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dapat dipandang sebagai fondasi yang menghubungkan relevansi, etika, literasi digital, refleksi metakognitif, serta kolaborasi. Dengan dukungan literatur mutakhir (Erlina et al.,

2018; Orosz et al., 2022; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), tahap ini memastikan bahwa mahasiswa tidak hanya mengenali masalah, tetapi juga mampu merumuskan pertanyaan riset yang tajam, etis, dan bermakna. AI diposisikan sebagai mitra strategis yang mempercepat, memperdalam, dan memperluas kualitas tahap formulasi masalah.

4.2.3 Perancangan Penyelidikan Berbasis AI

Tahap perancangan penyelidikan merupakan jantung dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning karena pada fase ini mahasiswa mulai mengonversi masalah yang telah diformulasikan menjadi rencana investigasi ilmiah. Menurut Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018), pembelajaran berbasis inkuiri menuntut penyusunan rancangan eksperimen yang valid untuk menguji hipotesis. AI memperkuat tahap ini dengan menghadirkan simulasi digital, data prediktif, serta rekomendasi berbasis algoritma yang membantu mahasiswa menyusun prosedur investigatif secara lebih akurat dan efisien.

Perancangan penyelidikan berbasis AI juga memfasilitasi mahasiswa dalam memilih metode penelitian yang paling relevan. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menegaskan bahwa AI mampu memberikan kurikulum adaptif yang sesuai dengan kebutuhan belajar. Hal ini berarti bahwa mahasiswa dapat dibantu AI untuk menentukan desain penelitian kuantitatif, kualitatif, maupun campuran berdasarkan jenis masalah yang diangkat. Dengan demikian,

tahap perancangan tidak lagi bersifat statis, tetapi responsif terhadap data dan kebutuhan riset.

AI juga memperkuat aspek validitas dan reliabilitas dalam perancangan penyelidikan. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa asesmen berbasis AI memungkinkan evaluasi otomatis terhadap rancangan eksperimen mahasiswa, termasuk kesesuaian variabel, kejelasan instrumen, dan kelayakan prosedur. Dengan fitur ini, mahasiswa dapat melakukan revisi rancangan sebelum melangkah ke tahap implementasi, sehingga mengurangi potensi kesalahan metodologis.

Landasan pedagogis dari tahap ini juga memperhatikan prinsip scaffolding. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menekankan bahwa bimbingan terstruktur sangat penting dalam pembelajaran inkuiri. Dengan AI, scaffolding diberikan dalam bentuk rekomendasi sumber, alat analisis, hingga strategi pengumpulan data. Hal ini memastikan bahwa rancangan penyelidikan disusun tidak hanya berdasarkan intuisi, tetapi dengan dukungan bukti ilmiah yang solid.

Perancangan penyelidikan berbasis AI juga berorientasi pada keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek berbasis keberlanjutan menghasilkan keterampilan berpikir kritis sekaligus kesadaran global. Dengan bantuan AI, mahasiswa dapat merancang investigasi yang memperhitungkan dampak lingkungan, sosial, dan ekonomi, sehingga riset yang dilakukan memiliki relevansi

jangka panjang. Hal ini menempatkan AI sebagai fasilitator dalam menghubungkan penelitian akademik dengan agenda pembangunan berkelanjutan.

Selain itu, AI berperan dalam memperkaya kolaborasi riset. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menunjukkan bahwa platform berbasis AI mampu menganalisis dinamika kolaborasi mahasiswa dalam proyek. Pada tahap perancangan, data ini dapat dimanfaatkan untuk membagi peran, mengatur timeline, serta menyusun strategi kolaborasi yang efektif. Dengan demikian, rancangan penyelidikan mencerminkan kerja sama tim yang terstruktur.

Dari perspektif psikologis, tahap ini juga memperhatikan aspek motivasi belajar. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menemukan bahwa pembelajaran berbasis inovasi mampu meningkatkan keterlibatan siswa. Dengan AI, mahasiswa dapat merancang penyelidikan yang sesuai dengan minatnya, sehingga motivasi intrinsik tetap terjaga. AI juga dapat menyesuaikan tingkat kompleksitas rancangan agar tetap berada dalam zone of proximal development (Vygotsky), sehingga tantangan yang dihadapi bersifat optimal.

Perancangan penyelidikan berbasis AI juga mencakup aspek keamanan akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan perlunya integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam laboratorium AI. Oleh karena itu, setiap rancangan harus memperhatikan etika penggunaan data, izin

riset, serta perlindungan privasi partisipan. AI dapat membantu dengan menyediakan checklist etis yang memastikan rancangan penyelidikan selaras dengan prinsip integritas akademik.

Landasan teknologi lain dalam tahap ini adalah pemanfaatan learning analytics. Divjak et al. (2025) menjelaskan bahwa learning analytics berbasis AI membantu memetakan kesulitan mahasiswa dalam menyusun rancangan. Data ini memungkinkan dosen memberikan bimbingan yang lebih terarah. Dengan demikian, rancangan penyelidikan tidak hanya menjadi produk mahasiswa, tetapi hasil interaksi cerdas antara mahasiswa, dosen, dan sistem AI.

Perancangan penyelidikan juga menekankan keterampilan scientific reasoning. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) membuktikan bahwa guided inquiry memperkuat kemampuan mengontrol variabel dalam eksperimen. Dengan AI, mahasiswa dapat merancang eksperimen virtual yang memperlihatkan konsekuensi manipulasi variabel sebelum dilakukan di laboratorium nyata. Hal ini memperkaya pemahaman metodologis sekaligus mengurangi risiko kesalahan teknis.

Selain aspek teknis, perancangan penyelidikan berbasis AI juga menekankan pada literasi digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menjelaskan bahwa kurikulum etika AI membantu siswa memahami implikasi sosial dari penggunaan teknologi. Dalam tahap ini, mahasiswa tidak hanya belajar merancang riset, tetapi juga memahami bagaimana AI

memengaruhi validitas data dan keadilan analisis. Hal ini memperluas makna perancangan menjadi sarana pendidikan etis.

Akhirnya, tahap perancangan penyelidikan berbasis AI dapat dipandang sebagai fase strategis yang menentukan kualitas keseluruhan riset. Dengan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Tlili et al., 2024; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), tahap ini memastikan bahwa rancangan penyelidikan tidak hanya sistematis dan valid, tetapi juga beretika, kolaboratif, dan berkelanjutan. AI diposisikan sebagai mitra yang mempercepat, memperdalam, dan memperluas proses desain investigatif mahasiswa.

4.2.4 Pelaksanaan Proyek Riset dengan AI

Pelaksanaan proyek riset merupakan tahapan penting dalam model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning, karena pada fase ini mahasiswa mengimplementasikan rancangan penyelidikan yang telah disusun sebelumnya. Integrasi AI memungkinkan proses riset berjalan lebih efisien, akurat, dan mendalam. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menegaskan bahwa platform pembelajaran berbasis proyek dengan dukungan AI mampu menganalisis pola kolaborasi mahasiswa, memonitor kinerja, dan memberikan rekomendasi berbasis data. Hal ini menjadikan AI sebagai instrumen yang tidak hanya memfasilitasi, tetapi juga mengawasi pelaksanaan riset.

Pelaksanaan proyek riset dengan AI juga berorientasi pada pengumpulan data yang komprehensif. Generative AI dapat membantu mahasiswa dalam mengekstrak data dari berbagai sumber, baik berupa literatur ilmiah, basis data daring, maupun simulasi virtual. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menunjukkan bahwa integrasi generative AI dalam pendidikan STEM mampu mengurangi miskonsepsi dan meningkatkan pemahaman konseptual. Hal ini memperlihatkan bahwa AI tidak hanya mendukung pengumpulan data, tetapi juga memperkaya konteks konseptual riset mahasiswa.

Dalam tahap pelaksanaan, keterampilan kolaboratif mahasiswa diperkuat melalui AI. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menemukan bahwa pengalaman riset interdisipliner yang didukung teknologi meningkatkan rasa memiliki terhadap sains dan literasi ilmiah. AI memfasilitasi kolaborasi ini dengan menyediakan platform berbasis cloud yang memungkinkan mahasiswa bekerja sama secara sinkron maupun asinkron. Selain itu, sistem AI juga dapat memantau kontribusi individu dalam tim, memastikan bahwa pelaksanaan riset berlangsung secara adil dan proporsional.

Aspek motivasi juga mendapat perhatian dalam pelaksanaan proyek riset dengan AI. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inovasi mampu meningkatkan keterlibatan siswa secara emosional. AI memperkuat motivasi ini dengan menghadirkan visualisasi

progres riset, memberikan pengingat otomatis, serta menyajikan umpan balik real time yang menjaga antusiasme mahasiswa. Dengan demikian, pelaksanaan riset tidak hanya berjalan teknis, tetapi juga memelihara motivasi intrinsik.

Pelaksanaan riset berbasis AI juga mendukung literasi digital mahasiswa. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa integrasi etika AI dalam kurikulum literasi membantu peserta didik memahami implikasi sosial dan moral teknologi. Ketika AI digunakan dalam riset, mahasiswa tidak hanya belajar aspek teknis, tetapi juga bagaimana mengelola data, menilai keabsahan sumber, dan menjaga integritas akademik. Hal ini menjadikan pelaksanaan riset sebagai wahana pembentukan karakter digital yang etis.

Aspek etika lain yang krusial adalah perlindungan data dan keamanan riset. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan harus menjadi prioritas dalam pemanfaatan AI. Dalam pelaksanaan riset, sistem AI dapat membantu menjaga kerahasiaan data partisipan dengan enkripsi otomatis dan izin akses terbatas. Dengan demikian, pelaksanaan riset berjalan sesuai prinsip etika akademik.

Pelaksanaan proyek riset juga melibatkan pemanfaatan simulasi berbasis AI untuk memperluas ruang eksperimen. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) membuktikan bahwa guided inquiry berbasis teknologi memperkuat keterampilan kontrol variabel. Dengan bantuan AI,

mahasiswa dapat melakukan eksperimen virtual yang mereplikasi kondisi nyata, sehingga memungkinkan eksplorasi variabel kompleks yang sulit dilakukan di laboratorium konvensional. Hal ini menjadikan pelaksanaan riset lebih fleksibel sekaligus mendalam.

Selain itu, pelaksanaan riset berbasis AI menekankan prinsip keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menunjukkan bahwa proyek riset yang diarahkan pada isu keberlanjutan memperkuat kesadaran global mahasiswa. AI memfasilitasi akses ke data lingkungan, sosial, dan ekonomi yang mutakhir, sehingga proyek yang dilaksanakan berkontribusi pada solusi nyata dalam konteks pembangunan berkelanjutan.

Pelaksanaan riset juga memberikan ruang bagi mahasiswa untuk mengasah keterampilan scientific reasoning. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menunjukkan bahwa pembelajaran inkuiri meningkatkan kemampuan berpikir analitis dan argumentatif. AI memperkuat proses ini dengan menyediakan data real time, analisis statistik otomatis, dan rekomendasi literatur yang relevan. Dengan cara ini, mahasiswa dilatih untuk mengaitkan teori dengan bukti empiris secara konsisten.

Dalam perspektif pedagogis, pelaksanaan proyek riset dengan AI memberikan peluang untuk refleksi metakognitif. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi kognitif penting untuk mengevaluasi efektivitas strategi belajar. AI menyediakan

dashboard pembelajaran yang menampilkan kekuatan, kelemahan, dan strategi yang digunakan mahasiswa selama riset. Fitur ini memperkaya refleksi dengan data yang obyektif, sehingga mahasiswa dapat meningkatkan kualitas proses belajarnya.

Kolaborasi dengan dosen juga mendapat dukungan signifikan melalui AI. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa asesmen berbasis AI membantu dosen memberikan umpan balik yang lebih obyektif. Dalam tahap pelaksanaan, dosen dapat memantau progres riset secara langsung melalui platform berbasis AI, memberikan rekomendasi, dan memastikan standar akademik terpenuhi. Dengan demikian, hubungan mahasiswa dan dosen menjadi lebih interaktif dan produktif.

Akhirnya, pelaksanaan proyek riset dengan AI dapat dipandang sebagai fase integratif yang menghubungkan aspek teknis, etis, kolaboratif, dan reflektif. Dengan dukungan literatur mutakhir (Dai et al., 2025; El Fathi et al., 2025; Rissanen et al., 2023), tahap ini memastikan bahwa riset mahasiswa tidak hanya berjalan secara akademik, tetapi juga relevan dengan tantangan global. AI ditempatkan sebagai mitra strategis yang memperluas kapasitas riset, memperdalam analisis, dan memperkuat kontribusi mahasiswa terhadap pengembangan ilmu pengetahuan.

4.2.5 Analisis, Refleksi, dan Presentasi Hasil

Tahap analisis, refleksi, dan presentasi hasil merupakan puncak dari keseluruhan proses AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning. Pada fase ini mahasiswa dihadapkan pada tantangan untuk mengolah data, menginterpretasi temuan, serta menyajikan hasil riset dalam format akademik yang sistematis. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa asesmen berbasis AI memungkinkan analisis data lebih efisien dan transparan, sehingga hasil penelitian dapat dievaluasi secara objektif. AI memfasilitasi mahasiswa dengan analitik otomatis, pengolahan statistik, dan visualisasi data yang meningkatkan ketajaman interpretasi.

Analisis data dalam konteks pembelajaran berbasis AI mencakup penggunaan algoritma untuk menemukan pola, hubungan antar-variabel, serta prediksi hasil. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menekankan bahwa guided inquiry memperkuat keterampilan kontrol variabel, sebuah kemampuan yang diperkuat melalui dukungan teknologi. AI membantu mahasiswa dalam mengidentifikasi inkonsistensi data, menguji hipotesis, dan memvalidasi hasil. Dengan demikian, analisis data tidak hanya menjadi proses mekanis, tetapi juga reflektif.

Refleksi menjadi dimensi penting setelah analisis. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi kognitif memperkuat kesadaran metakognitif mahasiswa dalam menilai efektivitas strategi riset. AI memperkaya proses ini dengan menyediakan

dashboard pembelajaran yang menampilkan progres, kesalahan umum, serta alternatif strategi yang lebih baik. Dengan dukungan data visual, refleksi mahasiswa menjadi lebih obyektif dan mendalam. Refleksi ini tidak hanya mencakup apa yang ditemukan, tetapi juga bagaimana proses riset dilalui dan apa implikasi dari strategi yang dipilih.

Tahap ini juga menekankan presentasi hasil penelitian dalam bentuk akademik maupun publik. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa presentasi proyek berbasis keberlanjutan mendorong mahasiswa untuk berpikir kritis dan menumbuhkan kesadaran global. AI berperan membantu dalam menyusun laporan riset dengan format akademik yang sesuai, menyarankan sitasi, serta menghasilkan visualisasi grafis untuk memperkuat argumen. Dengan demikian, presentasi tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga argumentatif.

Dalam konteks kolaboratif, presentasi hasil riset memperkuat komunikasi tim. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menemukan bahwa pengalaman riset interdisipliner meningkatkan literasi sains sekaligus rasa memiliki terhadap proyek penelitian. AI memperkaya proses presentasi dengan menyediakan platform daring untuk berbagi temuan, mendukung diskusi interaktif, serta memfasilitasi penilaian sejawat secara otomatis. Hal ini menegaskan bahwa presentasi hasil bukan hanya produk akhir, melainkan sarana memperkuat kolaborasi akademik.

Analisis data berbasis AI juga mendukung transparansi dalam riset. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan pentingnya integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan AI di pendidikan. Melalui fitur audit trail, AI memungkinkan setiap langkah analisis dapat ditelusuri kembali, sehingga hasil riset terjaga validitasnya. Transparansi ini memperkuat kepercayaan terhadap hasil penelitian yang dipresentasikan.

Selain mendukung transparansi, tahap ini juga memfasilitasi mahasiswa untuk mengevaluasi dampak riset terhadap isu-isu keberlanjutan. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi efektif meningkatkan hasil akademik ketika dikaitkan dengan isu nyata. AI menyediakan data global terkini yang memungkinkan mahasiswa menghubungkan hasil penelitiannya dengan tantangan lingkungan, sosial, dan ekonomi. Dengan demikian, hasil riset tidak berhenti pada publikasi, tetapi memiliki implikasi praktis.

Refleksi dalam tahap ini juga membantu mahasiswa memahami keterbatasan riset. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menekankan pentingnya berpikir analitis dalam menilai validitas temuan. AI memberikan umpan balik otomatis tentang potensi bias data, kelemahan metodologis, dan rekomendasi perbaikan untuk riset mendatang. Dengan demikian, refleksi

berbasis AI memperkuat budaya akademik yang kritis dan konstruktif.

Presentasi hasil penelitian dengan AI juga memperhatikan aspek literasi digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi etika AI memperkuat pemahaman siswa mengenai tanggung jawab teknologi. Dengan menggunakan AI dalam presentasi, mahasiswa tidak hanya mengkomunikasikan temuan, tetapi juga belajar bagaimana memanfaatkan teknologi secara etis, misalnya dengan menyertakan sumber data yang jelas dan menjaga privasi partisipan penelitian.

Selain itu, tahap ini mendorong pengembangan scientific reasoning. Erlina et al. (2018) membuktikan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan analisis dan argumentasi ilmiah. Dengan bantuan AI, mahasiswa dapat menampilkan visualisasi data yang memperkuat argumen, menguji kesesuaian teori dengan hasil, serta menjelaskan hubungan sebab-akibat. Hal ini menjadikan presentasi hasil sebagai bukti kemampuan berpikir kritis yang terintegrasi dengan keterampilan digital.

Refleksi berbasis AI juga memperkaya pemahaman mahasiswa tentang dampak riset terhadap masyarakat. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menunjukkan bahwa integrasi STEAM dengan AI mampu meningkatkan kesadaran sosial peserta didik sejak dini. Dalam konteks mahasiswa, refleksi ini membantu mereka memahami bagaimana penelitian berkontribusi pada

pemecahan masalah nyata. Hal ini penting agar hasil riset tidak hanya bernilai akademis, tetapi juga bermanfaat secara sosial.

Akhirnya, tahap analisis, refleksi, dan presentasi hasil menegaskan posisi AI sebagai mitra intelektual mahasiswa. Dengan literatur mutakhir (Divjak et al., 2025; Pasigon, 2024; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), AI memperkuat proses pengolahan data, refleksi kritis, serta komunikasi akademik. Tahap ini memastikan bahwa mahasiswa tidak hanya mampu menghasilkan riset berkualitas, tetapi juga mampu mengartikulasikan hasilnya secara etis, transparan, dan berdampak.

4.3 peran Guru, Mahasiswa, dan AI dalam Model

Dalam model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning, guru berperan sebagai fasilitator utama yang membimbing mahasiswa dalam proses pembelajaran. Peran guru tidak lagi sekadar sebagai penyampai informasi, melainkan sebagai pengarah strategi inkuiri dan proyek riset. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa integrasi AI mendorong dosen berperan sebagai mentor yang mengarahkan penggunaan teknologi, sekaligus memastikan kualitas akademik terjaga. Guru bertanggung jawab untuk merancang aktivitas riset, mengintegrasikan teknologi AI secara etis, serta memberikan umpan balik yang relevan terhadap hasil investigasi mahasiswa.

Mahasiswa dalam model ini diposisikan sebagai aktor utama yang mengembangkan keterampilan riset, berpikir kritis,

dan kolaborasi. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa pendekatan berbasis inkuiri memperkuat kemampuan analisis dan argumentasi ilmiah mahasiswa. Dengan dukungan AI, mahasiswa memperoleh kesempatan untuk merancang penyelidikan, mengumpulkan data, serta menginterpretasikan hasil secara lebih mandiri. Hal ini menempatkan mahasiswa sebagai subjek aktif yang membangun pengetahuan melalui pengalaman riset, bukan sebagai penerima informasi pasif.

AI dalam kerangka ini berfungsi sebagai mitra intelektual yang melengkapi peran guru dan mahasiswa. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menekankan bahwa AI mampu menyediakan kurikulum adaptif dan personalisasi pembelajaran yang sesuai dengan kebutuhan mahasiswa. AI mendukung mahasiswa dalam mencari literatur, menyusun hipotesis, merancang penyelidikan, hingga menganalisis data. Sementara itu, AI juga mendukung guru dengan memberikan learning analytics untuk memonitor progres mahasiswa secara real time.

Peran guru juga mencakup fungsi sebagai penjamin integritas akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan pentingnya integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan AI di laboratorium pembelajaran. Guru memastikan bahwa mahasiswa menggunakan AI sesuai prinsip etika, tidak bergantung secara penuh pada teknologi, serta mampu mengembangkan penilaian kritis terhadap hasil yang

dihasilkan sistem. Dengan demikian, guru berperan sebagai pengawas nilai-nilai akademik dalam model ini.

Mahasiswa dalam model ini juga dituntut untuk berperan sebagai kolaborator aktif. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menemukan bahwa pengalaman riset interdisipliner memperkuat literasi sains sekaligus meningkatkan rasa memiliki terhadap proses riset. AI memfasilitasi kolaborasi ini dengan menyediakan platform daring untuk komunikasi, analisis kontribusi tim, dan koordinasi jadwal. Dengan demikian, mahasiswa mengembangkan keterampilan kolaboratif yang penting untuk menghadapi tantangan abad ke-21.

AI juga berperan dalam menumbuhkan motivasi belajar mahasiswa. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis inovasi mampu meningkatkan keterlibatan emosional siswa. AI memperkuat motivasi ini dengan menghadirkan umpan balik otomatis, simulasi interaktif, serta visualisasi progres riset. Hal ini membantu mahasiswa mempertahankan keterlibatan sepanjang proses riset.

Peran guru dalam model ini juga mencakup penguatan literasi digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi digital yang disertai etika AI sangat penting dalam pendidikan modern. Guru membimbing mahasiswa agar memahami implikasi sosial dari penggunaan AI, sementara AI sendiri menyediakan sarana praktis untuk berlatih literasi digital. Kolaborasi peran ini memperkuat kemampuan

mahasiswa untuk beroperasi secara bertanggung jawab dalam ekosistem digital.

Mahasiswa juga berperan sebagai agen perubahan sosial melalui riset yang dilakukan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan mendorong kesadaran global dan keterampilan berpikir kritis. Dengan AI, mahasiswa mampu merancang penelitian yang relevan dengan isu lingkungan, sosial, dan ekonomi. Peran ini memastikan bahwa mahasiswa tidak hanya belajar teori, tetapi juga berkontribusi nyata terhadap masyarakat.

AI dalam model ini juga mendukung peran reflektif mahasiswa. Pasigon (2024) menjelaskan bahwa refleksi kognitif meningkatkan kesadaran metakognitif yang penting dalam pembelajaran riset. AI menyediakan dashboard refleksi yang membantu mahasiswa menilai strategi, mengidentifikasi kelemahan, dan memperbaiki pendekatan riset. Dengan demikian, mahasiswa mengembangkan kemampuan reflektif yang berkesinambungan.

Peran guru dan mahasiswa dalam model ini saling melengkapi dengan AI sebagai mediator. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menegaskan bahwa pembelajaran inkuiri berbasis teknologi memperkuat kontrol variabel eksperimen. Guru memastikan kesesuaian metodologi, mahasiswa menjalankan eksperimen, dan AI menyediakan

simulasi serta analisis data. Ketiganya membentuk sinergi yang memperkuat kualitas riset.

Aspek etis juga menjadi tanggung jawab bersama. Divjak et al. (2025) menegaskan bahwa asesmen berbasis AI di pendidikan tinggi harus mempertahankan transparansi dan keadilan. Guru memastikan prinsip etis dipatuhi, mahasiswa belajar mempraktikkan etika akademik, dan AI menyediakan transparansi analitik. Dengan demikian, etika menjadi benang merah yang mengikat ketiga aktor dalam model ini.

Pada akhirnya, peran guru, mahasiswa, dan AI dalam model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning bersifat integratif dan saling melengkapi. Dengan dukungan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Divjak et al., 2025; Tlili et al., 2024), guru berperan sebagai fasilitator dan pengawas integritas, mahasiswa sebagai aktor aktif dan agen perubahan, sedangkan AI sebagai mitra intelektual yang memperkuat motivasi, kolaborasi, dan refleksi. Sinergi ini menjadikan model bukan hanya inovasi pedagogis, tetapi juga paradigma baru pendidikan abad ke-21.

4.4 Sistem Pendukung Model (Infrastruktur, LMS, dan AI Tools)

Sistem pendukung merupakan komponen krusial dalam penerapan model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning. Tanpa dukungan infrastruktur yang memadai, implementasi model tidak akan optimal. Infrastruktur ini mencakup perangkat keras seperti komputer, jaringan internet berkecepatan tinggi, dan server penyimpanan data. Tlili, Salha,

Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menegaskan bahwa keberhasilan pembelajaran berbasis AI sangat bergantung pada kesiapan teknologi pendukung yang memastikan aksesibilitas dan reliabilitas. Oleh karena itu, institusi pendidikan perlu melakukan investasi strategis dalam penyediaan infrastruktur digital.

Selain perangkat keras, Learning Management System (LMS) menjadi tulang punggung pengelolaan pembelajaran berbasis riset. LMS memungkinkan pengorganisasian materi, pemantauan progres mahasiswa, serta integrasi berbagai aplikasi AI. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa LMS berbasis AI dapat menyediakan asesmen otomatis, analitik pembelajaran, serta umpan balik real time. Dalam konteks model ini, LMS tidak hanya menjadi repositori materi, tetapi juga pusat aktivitas riset yang interaktif dan kolaboratif.

AI tools menjadi aspek kunci dalam mendukung implementasi model ini. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menunjukkan bahwa generative AI dapat memperkaya pemahaman konseptual siswa melalui simulasi eksperimen dan pemodelan visual. Tools seperti chatbot cerdas, aplikasi analisis data berbasis machine learning, dan sistem deteksi miskonsepsi mendukung mahasiswa dalam setiap tahap inkuiri. Dengan demikian, AI tools berfungsi sebagai mitra intelektual yang memperluas kemampuan mahasiswa dalam merancang dan melaksanakan riset.

Sistem pendukung juga mencakup aspek keamanan data. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan pentingnya menjaga integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan laboratorium AI. Oleh karena itu, LMS dan AI tools yang digunakan harus memiliki fitur keamanan seperti enkripsi data, otentikasi berlapis, dan audit trail untuk memastikan bahwa data mahasiswa terlindungi dengan baik. Tanpa sistem keamanan yang kuat, integrasi AI dalam pembelajaran berpotensi menimbulkan risiko etis.

Aksesibilitas menjadi dimensi penting lain dalam sistem pendukung. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa keberhasilan metodologi aktif berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh sejauh mana platform tersebut inklusif. LMS dan AI tools harus dirancang agar ramah bagi mahasiswa dengan berbagai latar belakang, termasuk mereka yang memiliki keterbatasan akses internet atau kebutuhan khusus. Dengan demikian, sistem pendukung ini tidak hanya berorientasi pada kecanggihan, tetapi juga keadilan akses.

Ketersediaan big data juga menjadi elemen penting. Dai, Xiao, Huang, Zhai, Wai, dan Zhang (2025) menegaskan bahwa platform berbasis AI dapat memanfaatkan data besar untuk menganalisis pola pembelajaran mahasiswa. Dengan integrasi big data, mahasiswa dapat mengeksplorasi informasi dari berbagai sumber global, sementara guru dapat memanfaatkan

analitik untuk menilai efektivitas pembelajaran. Big data memungkinkan riset lebih kaya, relevan, dan berdampak luas.

Selain LMS, integrasi immersive technology seperti virtual reality (VR) dan augmented reality (AR) juga memperkuat sistem pendukung. Chang, Park, dan Park (2023) membuktikan bahwa chatbot dan simulasi berbasis AI meningkatkan keterlibatan siswa dalam investigasi ilmiah. VR dan AR memungkinkan mahasiswa mengalami eksperimen secara langsung dalam ruang virtual, memperluas kemungkinan investigasi yang sulit dilakukan di laboratorium konvensional.

Sistem pendukung juga memperhatikan aspek keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan memerlukan infrastruktur yang mendukung pengelolaan data lingkungan dan sosial. LMS yang terintegrasi dengan AI dapat menyediakan akses ke basis data global tentang isu-isu keberlanjutan, sehingga mahasiswa mampu merancang riset dengan kontribusi nyata terhadap masyarakat.

AI tools dalam sistem pendukung juga membantu mahasiswa meningkatkan literasi digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa integrasi etika AI dalam pembelajaran membantu siswa memahami implikasi teknologi dalam pendidikan. Tools berbasis AI memungkinkan mahasiswa berlatih mengelola data, memvalidasi sumber, dan mempresentasikan hasil riset dengan etis. Hal ini menjadikan

literasi digital bukan hanya keterampilan tambahan, tetapi inti dari proses riset.

Dalam konteks kolaborasi, LMS berbasis AI juga memfasilitasi kerja tim lintas disiplin. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menekankan bahwa riset interdisipliner memperkuat literasi sains sekaligus meningkatkan rasa memiliki terhadap penelitian. LMS memungkinkan mahasiswa dari berbagai latar belakang untuk berbagi data, berdiskusi secara sinkron maupun asinkron, serta menyusun laporan bersama dengan dukungan AI yang memonitor kontribusi individu.

Sistem pendukung juga harus memperhatikan integrasi learning analytics. Divjak et al. (2025) menunjukkan bahwa asesmen berbasis AI mampu memberikan gambaran mendalam tentang progres mahasiswa. Dengan learning analytics, dosen dapat mengetahui area kesulitan mahasiswa, memberikan intervensi tepat waktu, serta merancang strategi pembelajaran yang lebih efektif. Hal ini memperkuat fungsi sistem pendukung sebagai alat evaluasi dan pengambilan keputusan berbasis data.

Selain itu, sistem pendukung model ini harus kompatibel dengan perangkat mobile. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menegaskan bahwa integrasi AI dalam pendidikan anak usia dini terbukti meningkatkan aksesibilitas pembelajaran. Prinsip yang sama berlaku untuk pendidikan tinggi, di mana perangkat mobile memungkinkan mahasiswa mengakses LMS, AI tools, serta data riset kapan saja dan di mana saja. Mobilitas ini

memastikan keberlanjutan proses riset tanpa terikat ruang kelas fisik.

Akhirnya, sistem pendukung model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dapat dipandang sebagai ekosistem digital yang mencakup infrastruktur, LMS, AI tools, big data, keamanan, dan aksesibilitas. Dengan dukungan literatur mutakhir (El Fathi et al., 2025; Divjak et al., 2025; Tlili et al., 2024), sistem pendukung ini memastikan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran riset berjalan secara efektif, inklusif, dan berkelanjutan. Sistem pendukung tidak hanya memperkuat aspek teknis, tetapi juga menegaskan peran AI sebagai katalis transformasi pendidikan tinggi.

4.5 Kelebihan, Keterbatasan, dan Prospek Model

Kelebihan utama dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning adalah kemampuannya mengintegrasikan pendekatan inkuiri dan proyek riset dengan teknologi AI secara adaptif. Menurut Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024), AI mampu menyesuaikan konten pembelajaran dengan kebutuhan mahasiswa secara real time. Hal ini menjadikan pembelajaran lebih personal, relevan, dan sesuai dengan kecepatan belajar individu. Kelebihan ini penting dalam konteks pendidikan tinggi yang menuntut kemandirian dan diferensiasi dalam pembelajaran.

Selain personalisasi, model ini juga memiliki kelebihan pada aspek penguatan scientific reasoning. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menunjukkan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan argumentasi ilmiah. Dengan integrasi AI, mahasiswa dapat mengakses data simulatif, melakukan eksperimen virtual, dan menganalisis hasil dengan bantuan algoritma cerdas. Kelebihan ini menjadikan mahasiswa lebih terlatih dalam menghubungkan teori dengan bukti empiris.

Kelebihan lain adalah penguatan kolaborasi dalam riset. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menemukan bahwa pengalaman interdisipliner meningkatkan literasi sains sekaligus rasa memiliki terhadap penelitian. AI memfasilitasi kolaborasi dengan menyediakan platform daring yang mendukung komunikasi lintas disiplin, pelacakan kontribusi individu, dan koordinasi jadwal tim. Kolaborasi ini memperkuat kemampuan sosial akademik mahasiswa sekaligus meningkatkan kualitas hasil riset.

Model ini juga memperkuat motivasi belajar mahasiswa. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) membuktikan bahwa model pembelajaran inovatif meningkatkan keterlibatan emosional mahasiswa. AI memperkuat motivasi ini dengan menyediakan umpan balik otomatis, visualisasi progres, serta simulasi interaktif yang menjaga antusiasme. Kelebihan ini menjadikan riset tidak hanya

sebagai tugas akademik, tetapi pengalaman belajar yang bermakna.

Selain kelebihan, model ini juga memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan. Salah satunya adalah ketergantungan pada infrastruktur teknologi. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menekankan bahwa keberhasilan metodologi aktif berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh kesiapan perangkat keras dan jaringan internet. Tanpa infrastruktur yang memadai, implementasi model akan terhambat, terutama di institusi dengan keterbatasan sumber daya.

Keterbatasan lain adalah risiko bias algoritmik dalam penggunaan AI. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menjelaskan bahwa bias dalam data dapat memengaruhi validitas output analisis. Dalam konteks pembelajaran, hal ini dapat menghasilkan interpretasi yang tidak obyektif. Oleh karena itu, penggunaan AI perlu disertai pengawasan manusia agar hasil analisis tetap valid dan adil.

Selain bias, tantangan lain terletak pada literasi digital mahasiswa. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi digital yang lemah dapat menghambat mahasiswa dalam memanfaatkan teknologi AI secara optimal. Mahasiswa yang belum terbiasa dengan analitik data, etika digital, atau sistem AI adaptif akan mengalami kesulitan dalam mengikuti proses pembelajaran. Hal ini menunjukkan perlunya pelatihan literasi digital sebagai bagian integral dari model.

Keterbatasan berikutnya berkaitan dengan isu etika dan keamanan data. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan pentingnya integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam penggunaan AI di laboratorium pendidikan. Dalam praktiknya, penyimpanan dan analisis data mahasiswa melalui sistem AI berisiko menghadirkan masalah privasi. Hal ini mengharuskan institusi menerapkan kebijakan perlindungan data yang ketat.

Di sisi lain, prospek model ini sangat menjanjikan dalam konteks pendidikan tinggi. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan yang didukung teknologi mampu menumbuhkan kesadaran global. Model ini memiliki potensi untuk memperkuat hubungan antara riset akademik dan kontribusi nyata terhadap isu sosial, ekonomi, dan lingkungan. Prospek ini menempatkan model sebagai inovasi yang relevan bagi agenda pembangunan berkelanjutan.

Prospek lainnya adalah integrasi lintas disiplin yang semakin luas. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menunjukkan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran STEAM memperkuat pengalaman belajar sejak usia dini. Dalam pendidikan tinggi, model ini dapat diterapkan pada berbagai disiplin ilmu, mulai dari sains, teknologi, hingga ilmu sosial. Dengan demikian, prospeknya tidak hanya terbatas pada bidang tertentu, tetapi mencakup transformasi kurikulum lintas bidang.

Model ini juga berprospek dalam memperkuat hubungan antara pendidikan tinggi dan industri. Divjak et al. (2025) menekankan bahwa asesmen berbasis AI memungkinkan kurikulum lebih selaras dengan kebutuhan dunia kerja. Dengan memanfaatkan AI, mahasiswa dapat mengembangkan keterampilan riset yang relevan dengan industri, seperti analitik data, problem-solving kompleks, dan inovasi berbasis teknologi. Prospek ini memastikan lulusan lebih siap menghadapi tantangan global.

Prospek lain adalah pengembangan keterampilan abad ke-21 yang lebih komprehensif. Erlina et al. (2018) menegaskan bahwa inkuiri berbasis bukti memperkuat penalaran ilmiah, sementara Fitriadi et al. (2024) menyoroti penguatan berpikir kritis dan kreativitas. Dengan dukungan AI, keterampilan ini diperluas mencakup literasi digital, etika teknologi, dan kolaborasi global. Prospek ini menjadikan model sebagai jawaban atas tuntutan kompetensi abad ke-21.

Akhirnya, prospek model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning terletak pada kemampuannya membangun paradigma pendidikan baru yang holistik. Dengan literatur mutakhir (Tlili et al., 2024; Divjak et al., 2025; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), model ini mampu mengintegrasikan dimensi kognitif, afektif, sosial, dan digital dalam satu kerangka pembelajaran. Hal ini menegaskan bahwa model tidak hanya menjawab kebutuhan saat ini, tetapi juga

memproyeksikan arah pendidikan masa depan yang berkelanjutan dan inklusif.

BAB V. IMPLEMENTASI MODEL DALAM KONTEKS PENDIDIKAN

5.1 Implementasi dalam Pendidikan Dasar dan Menengah

Implementasi model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning pada pendidikan dasar dan menengah menuntut pendekatan yang disesuaikan dengan karakteristik perkembangan kognitif siswa. Menurut Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018), pembelajaran berbasis inkuiri efektif meningkatkan kemampuan penalaran ilmiah siswa ketika disajikan melalui aktivitas eksperimen sederhana. AI dapat memperkuat proses ini dengan menyediakan simulasi virtual, video interaktif, serta rekomendasi berbasis data yang relevan dengan tingkat perkembangan peserta didik. Integrasi teknologi ini memastikan siswa sejak dini terbiasa dengan metode berpikir ilmiah.

Pada level sekolah dasar, integrasi model ini berfokus pada penumbuhan rasa ingin tahu dan literasi sains. Chen dan Tippet (2022) menegaskan bahwa pembelajaran inkuiri berbasis proyek efektif diterapkan pada anak usia dini dalam penguatan keterampilan STEM dasar. AI dapat membantu guru menyajikan aktivitas sains yang menarik melalui aplikasi gamifikasi, augmented reality, atau chatbot edukatif. Hal ini membuat siswa lebih mudah memahami konsep abstrak, sekaligus menumbuhkan kecintaan terhadap riset sejak dini.

Di tingkat menengah, penerapan model ini lebih menekankan pada pengembangan keterampilan berpikir kritis dan kolaborasi. Bezci dan Sungur (2021) menemukan bahwa penalaran ilmiah siswa menengah dipengaruhi oleh lingkungan belajar berbasis inkuiri yang mendorong partisipasi aktif. Dengan bantuan AI, siswa dapat terlibat dalam proyek kolaboratif lintas kelas atau bahkan lintas sekolah, di mana data dikumpulkan, dianalisis, dan dipresentasikan dengan dukungan platform digital. Ini menumbuhkan keterampilan abad ke-21 yang relevan.

Integrasi AI juga membantu dalam mengatasi keterbatasan sumber daya sekolah. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) membuktikan bahwa guided inquiry memperkuat kontrol variabel dalam eksperimen. Ketika laboratorium fisik terbatas, AI dapat menghadirkan simulasi eksperimen virtual yang memungkinkan siswa menguji hipotesis tanpa keterbatasan fasilitas. Dengan demikian, keterbatasan infrastruktur tidak lagi menjadi hambatan besar dalam pembelajaran sains berbasis proyek.

Implementasi pada pendidikan dasar dan menengah juga berperan dalam menanamkan literasi digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menekankan bahwa literasi digital berbasis etika penting untuk dipelajari sejak awal. Melalui model ini, AI tidak hanya digunakan untuk mendukung pembelajaran, tetapi juga untuk menanamkan kesadaran tentang tanggung

jawab etis dalam penggunaan teknologi. Hal ini menjadikan siswa lebih siap menghadapi tantangan era digital.

Selain literasi digital, penerapan model ini memperkuat kemampuan kolaboratif. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menunjukkan bahwa pengalaman interdisipliner meningkatkan rasa memiliki terhadap sains. AI menyediakan platform daring yang memungkinkan siswa dasar dan menengah berkolaborasi dalam proyek lintas disiplin, misalnya riset ekologi sederhana atau pemetaan lingkungan lokal. Kolaborasi ini tidak hanya melatih keterampilan akademik, tetapi juga memperkuat keterampilan sosial.

Implementasi juga memperkuat motivasi intrinsik siswa. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa model pembelajaran berbasis inovasi meningkatkan keterlibatan emosional siswa. AI menghadirkan umpan balik instan, permainan edukatif, serta visualisasi progres yang memotivasi siswa untuk terus mengeksplorasi. Dengan demikian, pembelajaran menjadi lebih menarik dan berkesan.

Penerapan model ini juga memperhatikan konteks keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan bahwa proyek berbasis keberlanjutan membantu siswa memahami isu-isu global. Pada pendidikan menengah, siswa dapat dilibatkan dalam proyek riset sederhana terkait lingkungan, energi, atau sosial dengan dukungan data global

berbasis AI. Hal ini memperkuat kesadaran kritis terhadap isu dunia sejak usia sekolah.

Implementasi pada tingkat dasar dan menengah juga memberikan ruang untuk refleksi metakognitif. Pasigon (2024) menjelaskan bahwa refleksi kognitif penting untuk mengembangkan kesadaran belajar. AI menyediakan dashboard sederhana yang membantu siswa memahami strategi belajar mereka, kesalahan umum, dan perbaikan yang perlu dilakukan. Dengan demikian, refleksi menjadi bagian integral dari pembelajaran berbasis riset sejak dini.

Selain itu, model ini membantu memperkuat keterampilan komunikasi akademik. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menunjukkan bahwa inkuiri berbasis kolaborasi mendukung pengembangan keterampilan komunikasi abad ke-21. AI memfasilitasi presentasi hasil riset siswa dalam bentuk visualisasi grafis, laporan digital, atau video interaktif, yang membuat komunikasi lebih efektif dan menarik.

Implementasi juga mendorong keterhubungan antara sekolah dan masyarakat. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menjelaskan bahwa metodologi aktif berbasis teknologi berdampak positif pada prestasi akademik ketika dihubungkan dengan konteks nyata. Siswa dapat dilibatkan dalam proyek berbasis komunitas dengan memanfaatkan AI untuk menganalisis data lokal, sehingga hasil riset mereka relevan dengan kebutuhan masyarakat.

Di sisi lain, tantangan yang dihadapi adalah kesiapan guru dalam memanfaatkan AI. Alexander et al. (2023) menegaskan bahwa integritas dan keadilan harus diperhatikan dalam penggunaan AI. Oleh karena itu, guru perlu diberikan pelatihan agar mampu mengintegrasikan teknologi dengan tepat tanpa mengabaikan aspek etis. Hal ini penting untuk memastikan implementasi berjalan secara bertanggung jawab.

Akhirnya, implementasi model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dalam pendidikan dasar dan menengah dapat dilihat sebagai investasi strategis untuk masa depan. Dengan dukungan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Chen & Tippett, 2022; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), model ini tidak hanya memperkuat keterampilan akademik, tetapi juga menanamkan literasi digital, etika, kolaborasi, dan kesadaran global sejak dini. Hal ini menjadikannya relevan sebagai paradigma baru pendidikan di era digital.

5.2 Implementasi dalam Pendidikan Tinggi

Implementasi model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning pada pendidikan tinggi memberikan landasan strategis untuk memperkuat budaya akademik berbasis riset. Menurut Divjak, Svetec, dan Aničić (2025), integrasi AI dalam pendidikan tinggi mampu menghadirkan asesmen adaptif, analitik berbasis data, serta umpan balik real time yang mendukung efektivitas riset mahasiswa. Hal ini menjadikan AI bukan hanya sebagai alat bantu teknis, tetapi sebagai mitra

intelektual yang memperkaya proses pembelajaran berbasis inkuiri.

Dalam konteks perguruan tinggi, model ini relevan untuk mengembangkan keterampilan berpikir kritis tingkat tinggi. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) membuktikan bahwa pembelajaran inkuiri berbasis bukti meningkatkan penalaran ilmiah mahasiswa. Integrasi AI memungkinkan mahasiswa mengakses big data, menjalankan eksperimen virtual, serta menguji hipotesis melalui simulasi berbasis algoritma. Dengan demikian, keterampilan berpikir analitis dan evaluatif mahasiswa semakin terasah.

Model ini juga memperkuat dimensi kolaborasi interdisipliner. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menegaskan bahwa pengalaman riset lintas disiplin meningkatkan literasi sains dan rasa memiliki terhadap proses penelitian. AI menyediakan platform kolaborasi daring yang memungkinkan mahasiswa dari berbagai fakultas bekerja sama dalam proyek riset bersama. Kolaborasi ini tidak hanya meningkatkan kualitas riset, tetapi juga membangun jejaring akademik yang relevan dengan kebutuhan global.

Selain itu, implementasi di perguruan tinggi memberikan kesempatan untuk menghubungkan riset akademik dengan dunia industri. Divjak et al. (2025) menekankan bahwa asesmen berbasis AI mendukung relevansi kurikulum dengan kebutuhan profesional. Mahasiswa dapat mengerjakan proyek riset yang berorientasi pada pemecahan masalah industri nyata dengan

bantuan data analitik berbasis AI. Dengan demikian, model ini menyiapkan lulusan agar lebih adaptif terhadap dinamika pasar kerja.

Aspek literasi digital juga menjadi dimensi penting dari implementasi model ini. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi etis berbasis AI harus dikuasai mahasiswa untuk menghadapi era digital. Melalui model ini, mahasiswa tidak hanya belajar mengolah data riset, tetapi juga memahami implikasi etis dari penggunaan teknologi. Dengan cara ini, literasi digital mahasiswa mencakup keterampilan teknis sekaligus kesadaran moral.

Implementasi model juga mendukung peningkatan motivasi belajar mahasiswa. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa inovasi pembelajaran berbasis proyek meningkatkan keterlibatan emosional mahasiswa. AI menambah dimensi motivasional ini dengan menghadirkan simulasi menarik, umpan balik otomatis, serta visualisasi progres riset. Kombinasi faktor ini menjadikan riset sebagai pengalaman belajar yang lebih bermakna.

Integrasi AI dalam pendidikan tinggi juga memberikan solusi terhadap keterbatasan infrastruktur laboratorium fisik. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) membuktikan bahwa guided inquiry berbasis teknologi mampu memperkuat keterampilan kontrol variabel. Dengan simulasi eksperimen berbasis AI, mahasiswa dapat melakukan penelitian

tanpa harus terbatas pada fasilitas fisik. Hal ini membuka akses riset yang lebih inklusif dan fleksibel.

Implementasi model juga memperkuat refleksi metakognitif mahasiswa. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi kognitif penting untuk meningkatkan kesadaran belajar. AI mendukung refleksi ini dengan menyediakan dashboard analitik yang menampilkan pola belajar, kesalahan umum, serta strategi perbaikan. Hal ini memungkinkan mahasiswa melakukan evaluasi diri berbasis data yang obyektif, sehingga proses pembelajaran semakin efektif.

Penerapan model ini di perguruan tinggi juga berperan dalam menanamkan kesadaran keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan memupuk keterampilan berpikir kritis sekaligus kepedulian global. AI memfasilitasi akses pada data lingkungan, sosial, dan ekonomi terkini, sehingga mahasiswa dapat merancang riset dengan kontribusi nyata terhadap isu-isu global. Dengan demikian, pendidikan tinggi tidak hanya melahirkan lulusan akademis, tetapi juga agen perubahan sosial.

Implementasi juga memperkuat keterampilan komunikasi akademik. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menunjukkan bahwa pembelajaran inkuiri berbasis kolaborasi meningkatkan keterampilan komunikasi ilmiah. AI membantu mahasiswa menyiapkan laporan riset dengan format akademik, memvisualisasikan data, serta menyusun presentasi berbasis

multimedia. Hal ini membuat komunikasi hasil riset lebih efektif dan berdampak.

Selain kelebihan, implementasi model ini juga menghadapi tantangan. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa keberhasilan metodologi aktif berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh kesiapan infrastruktur digital. Tidak semua perguruan tinggi memiliki jaringan internet, perangkat keras, atau sistem LMS yang memadai. Oleh karena itu, keberhasilan implementasi memerlukan investasi signifikan pada infrastruktur.

Tantangan lain adalah potensi bias algoritmik. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) memperingatkan bahwa bias dalam data dapat memengaruhi hasil analisis berbasis AI. Dalam konteks riset mahasiswa, hal ini berpotensi mengurangi obyektivitas. Oleh karena itu, keterlibatan dosen sebagai pengawas akademik tetap penting untuk menjaga validitas riset.

Akhirnya, implementasi model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dalam pendidikan tinggi dapat dipandang sebagai paradigma baru pendidikan abad ke-21. Dengan dukungan literatur mutakhir (Divjak et al., 2025; Erlina et al., 2018; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), model ini memperkuat integrasi riset, teknologi, etika, dan keberlanjutan. Implementasi di perguruan tinggi bukan hanya meningkatkan kualitas akademik, tetapi juga menyiapkan lulusan yang kritis, adaptif, dan berdaya saing global.

5.3 Studi Kasus Internasional

5.3.1 Integrasi AI dalam PBL di STEM (Bangladesh, Korea, Finlandia)

Integrasi AI dalam Problem-Based Learning (PBL) untuk bidang STEM di Bangladesh memberikan gambaran menarik tentang bagaimana inovasi teknologi dapat menjawab tantangan pendidikan di negara berkembang. Arefin, Chowdhury, dan Nishat (2025) menekankan bahwa integrasi STEM di Bangladesh bertujuan menjembatani kesenjangan antara kebutuhan industri dan praktik pendidikan. Dengan bantuan AI, siswa mendapatkan akses ke simulasi virtual, data global, dan platform kolaboratif yang memperkuat pengalaman belajar berbasis masalah. Implementasi ini sangat relevan untuk meningkatkan literasi digital sekaligus keterampilan berpikir kritis di kalangan siswa menengah.

Di Bangladesh, AI juga membantu mengatasi keterbatasan sumber daya, khususnya dalam penyediaan laboratorium sains. Dengan menggunakan simulasi eksperimen berbasis AI, siswa dapat menguji hipotesis tanpa harus terbatas pada peralatan fisik. Hal ini sejalan dengan temuan Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) bahwa guided inquiry berbasis teknologi memperkuat keterampilan kontrol variabel dalam eksperimen. Melalui pendekatan ini, siswa tidak hanya terbantu secara teknis, tetapi juga dipersiapkan untuk menghadapi tuntutan kompetensi STEM global.

Di Korea Selatan, penerapan AI dalam PBL di bidang STEM lebih menekankan pada pendekatan berbasis inquirybot atau chatbot cerdas. Chang, Park, dan Park (2023) menunjukkan bahwa penggunaan chatbot dalam aktivitas inkuiri meningkatkan keterlibatan siswa serta memfasilitasi eksplorasi ilmiah yang lebih mendalam. Chatbot AI memberikan pertanyaan pemicu, saran literatur, hingga umpan balik otomatis, sehingga siswa dapat memperbaiki rancangan riset secara mandiri. Hal ini menjadikan PBL di Korea Selatan lebih interaktif, efisien, dan mendukung otonomi belajar.

Selain itu, sistem pendidikan Korea menekankan integrasi AI untuk memperluas akses pada data eksperimen. Dengan teknologi ini, siswa dapat berkolaborasi lintas sekolah bahkan lintas negara untuk mengerjakan proyek STEM berbasis riset. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menegaskan bahwa riset interdisipliner lintas konteks meningkatkan literasi sains dan rasa memiliki terhadap proses riset. Implementasi AI di Korea membuktikan bagaimana PBL dapat dikembangkan menjadi ekosistem pembelajaran global yang kolaboratif.

Finlandia sebagai salah satu negara dengan sistem pendidikan terbaik di dunia juga memberikan contoh integrasi AI dalam PBL di STEM. Larkin dan Lowrie (2023) menekankan bahwa pendekatan STEM di Finlandia didukung oleh metode pedagogis yang kuat serta infrastruktur digital yang matang. Dengan AI, siswa Finlandia memiliki kesempatan untuk melakukan riset berbasis data besar, mengakses sumber global,

serta menggunakan analitik cerdas untuk mendukung penalaran ilmiah. Pendekatan ini menunjukkan bahwa integrasi AI memperkuat kualitas PBL yang sudah mapan di Finlandia.

Keunggulan Finlandia terletak pada konsistensinya menghubungkan PBL berbasis AI dengan kebutuhan kehidupan nyata. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan bahwa proyek berbasis keberlanjutan efektif membangun kesadaran kritis siswa. Dengan dukungan AI, PBL di Finlandia diarahkan pada isu-isu global seperti perubahan iklim, energi terbarukan, dan keadilan sosial. Hal ini menempatkan AI sebagai katalis transformasi pendidikan sekaligus sarana membangun kesadaran global sejak usia sekolah.

Perbandingan antara Bangladesh, Korea Selatan, dan Finlandia menunjukkan perbedaan konteks yang signifikan dalam penerapan AI untuk PBL STEM. Bangladesh menitikberatkan pada solusi untuk keterbatasan sumber daya, Korea Selatan pada interaktivitas melalui chatbot, sementara Finlandia pada relevansi global dan keberlanjutan. Perbedaan ini menegaskan bahwa implementasi AI harus disesuaikan dengan kebutuhan lokal tanpa mengurangi esensi PBL sebagai sarana penguatan penalaran ilmiah.

Meskipun berbeda, ketiga negara menunjukkan kesamaan dalam menempatkan AI sebagai mitra intelektual siswa. Tlili et al. (2024) menegaskan bahwa AI mendukung pembelajaran adaptif dan meningkatkan efektivitas PBL. Bangladesh memanfaatkan AI untuk efisiensi sumber daya,

Korea Selatan untuk memperkaya interaktivitas, dan Finlandia untuk memperluas kesadaran global. Dengan demikian, AI berfungsi sebagai elemen transformatif yang memperkuat keberlanjutan PBL.

Studi kasus internasional ini juga memperlihatkan bahwa keberhasilan integrasi AI dalam PBL STEM ditentukan oleh kesiapan infrastruktur dan kebijakan pendidikan. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menekankan bahwa efektivitas metodologi aktif berbasis teknologi dipengaruhi oleh dukungan sistemik, mulai dari kebijakan pemerintah hingga pelatihan guru. Tanpa dukungan sistemik, potensi AI dalam PBL akan sulit dimaksimalkan.

Selain kesiapan sistem, etika penggunaan AI juga menjadi aspek penting dalam implementasi internasional. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) mengingatkan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan harus dijunjung tinggi dalam setiap penggunaan AI di pendidikan. Baik di Bangladesh, Korea, maupun Finlandia, penerapan AI dalam PBL STEM perlu memperhatikan prinsip etis agar tidak menimbulkan ketimpangan akses maupun bias algoritmik.

Akhirnya, studi kasus internasional ini menegaskan bahwa integrasi AI dalam PBL di STEM memiliki potensi besar untuk mentransformasi pendidikan global. Dengan literatur mutakhir (Arefin et al., 2025; Chang et al., 2023; Larkin & Lowrie, 2023), dapat disimpulkan bahwa AI mampu memperkaya proses PBL dengan menghadirkan personalisasi, interaktivitas, serta

relevansi global. Praktik Bangladesh, Korea Selatan, dan Finlandia menjadi cermin bagi negara lain dalam mengembangkan kebijakan pendidikan yang adaptif, inovatif, dan berorientasi pada masa depan.

5.3.2 Penerapan Inquiry + AI di Universitas Global

Penerapan model Inquiry + AI di universitas global menegaskan pentingnya transformasi pedagogis dalam menghadapi tuntutan abad ke-21. Menurut Divjak, Svetec, dan Aničić (2025), integrasi AI dalam pendidikan tinggi memperkaya pembelajaran berbasis proyek melalui asesmen otomatis, analitik berbasis data, dan personalisasi kurikulum. Universitas global yang mengadopsi model ini menempatkan AI sebagai mitra strategis mahasiswa dan dosen dalam memperkuat inkuiri akademik. Dengan demikian, AI menjadi instrumen untuk meningkatkan efektivitas, efisiensi, serta kualitas riset mahasiswa.

Universitas di Amerika Serikat telah banyak memanfaatkan Inquiry + AI dalam proyek riset mahasiswa. Isenhour (2025) menunjukkan bahwa penerapan proyek penelitian independen berbasis STEM secara daring yang diperkuat AI mampu meningkatkan penalaran ilmiah dan keterampilan analisis data mahasiswa. AI mendukung mahasiswa dalam menyusun hipotesis, mengakses data global, serta menjalankan eksperimen virtual yang relevan dengan dunia nyata. Model ini memperlihatkan bagaimana inquiry yang diperkuat AI meningkatkan literasi sains mahasiswa dalam konteks digital.

Di Eropa, penerapan Inquiry + AI sering dikaitkan dengan penguatan keberlanjutan dan multidisiplin. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis proyek berorientasi keberlanjutan yang didukung AI memungkinkan mahasiswa merancang riset yang berdampak sosial, ekonomi, dan lingkungan. Universitas di Eropa mengintegrasikan AI untuk menghubungkan mahasiswa lintas fakultas dalam proyek interdisipliner, sehingga keterampilan kolaboratif, analitis, dan kritis dapat berkembang sejalan dengan tuntutan global.

Finlandia juga menjadi contoh universitas yang menempatkan Inquiry + AI sebagai strategi pedagogis unggulan. Larkin dan Lowrie (2023) menegaskan bahwa integrasi STEM dengan pendekatan berbasis inkuiri menghasilkan pengalaman belajar yang konsisten dengan sistem pendidikan Finlandia yang adaptif. Dengan dukungan AI, universitas di Finlandia memungkinkan mahasiswa melakukan eksperimen berbasis big data, simulasi virtual, dan refleksi metakognitif yang memperkuat kompetensi riset.

Di Asia, Korea Selatan menampilkan praktik unik dalam penerapan Inquiry + AI. Chang, Park, dan Park (2023) menjelaskan bahwa penggunaan chatbot inkuiri (Inquirybot) dalam aktivitas riset mahasiswa meningkatkan keterlibatan sekaligus memperluas kapasitas eksplorasi ilmiah. Inquirybot memberikan dukungan real time berupa pertanyaan pemicu, rujukan literatur, serta evaluasi otomatis atas rancangan

penelitian. Hal ini memperlihatkan peran AI dalam memperkuat otonomi belajar mahasiswa di universitas global.

Universitas di Jepang juga mengembangkan pendekatan Inquiry + AI untuk memperkuat keterampilan berpikir kritis mahasiswa. Tomková (2025) menjelaskan bahwa konsep STEM sebagai metode inquiry di sekolah menengah atas kini diperluas ke tingkat universitas dengan bantuan AI. Pendekatan ini memungkinkan mahasiswa Jepang mengembangkan pemecahan masalah yang berbasis data dan berpikir sistemik dalam proyek riset. Penerapan ini menghubungkan riset akademik dengan tantangan industri dan masyarakat.

Penerapan Inquiry + AI di universitas global juga memperhatikan aspek literasi digital dan etika. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi etis berbasis AI penting untuk dipelajari oleh mahasiswa agar mampu memanfaatkan teknologi tanpa mengabaikan tanggung jawab sosial. Universitas global memanfaatkan AI tidak hanya untuk pengolahan data, tetapi juga untuk melatih mahasiswa menjaga keadilan akademik, integritas riset, dan transparansi dalam setiap proses inkuiri.

Selain literasi digital, penerapan Inquiry + AI di universitas global memperkuat budaya refleksi. Pasigon (2024) menekankan bahwa refleksi kognitif meningkatkan kesadaran metakognitif mahasiswa. AI mendukung proses ini dengan menyediakan dashboard refleksi yang menampilkan pola belajar, capaian riset, serta rekomendasi strategi perbaikan.

Dengan demikian, Inquiry + AI tidak hanya fokus pada hasil penelitian, tetapi juga pada proses belajar reflektif mahasiswa.

Di universitas global, Inquiry + AI juga diintegrasikan dalam kerja sama internasional. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menegaskan bahwa riset interdisipliner lintas negara meningkatkan literasi sains sekaligus memperluas jejaring akademik. AI memungkinkan mahasiswa berkolaborasi lintas benua melalui platform daring, mengolah data global, serta menyajikan hasil riset dengan dukungan analitik visual. Kolaborasi internasional ini memperlihatkan dimensi globalisasi yang diperkuat AI.

Penerapan Inquiry + AI juga menghadapi tantangan, terutama terkait kesiapan infrastruktur dan risiko bias algoritmik. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) mengingatkan bahwa bias data dapat menurunkan obyektivitas riset. Universitas global berupaya mengatasi hal ini dengan memperkuat transparansi algoritma, pengawasan akademik, serta pelatihan literasi digital bagi mahasiswa. Pendekatan ini menjaga kualitas riset tetap obyektif dan etis.

Selain tantangan, Inquiry + AI memberikan prospek yang luas bagi universitas global. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa pendekatan ini mempersiapkan mahasiswa untuk menghadapi isu global secara kritis dan inovatif. Prospek ini menegaskan bahwa Inquiry + AI dapat menjadi strategi pedagogis universal yang menyatukan aspek teknologi, riset, dan keberlanjutan dalam pendidikan tinggi.

Akhirnya, penerapan Inquiry + AI di universitas global dapat dipandang sebagai paradigma baru pendidikan abad ke-21. Dengan literatur mutakhir (Isenhour, 2025; Chang et al., 2023; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), pendekatan ini memperkuat integrasi riset, teknologi, dan etika dalam kurikulum pendidikan tinggi. Inquiry + AI tidak hanya meningkatkan kualitas riset mahasiswa, tetapi juga menegaskan peran universitas sebagai motor penggerak transformasi pendidikan global.

5.4 Studi Kasus Nasional (Indonesia)

5.4.1 Penggunaan GeoGebra dan AI dalam Proyek Matematika

Implementasi penggunaan GeoGebra yang dipadukan dengan teknologi AI dalam proyek matematika di Indonesia telah memberikan dampak signifikan pada penguatan keterampilan pemecahan masalah siswa. Utami, Adiansha, dan Yusuf (2023) menemukan bahwa pemanfaatan GeoGebra membantu siswa SMP dalam memahami konsep matematika abstrak melalui visualisasi dinamis. Dengan integrasi AI, kemampuan ini diperluas karena siswa dapat memperoleh umpan balik otomatis, prediksi kesalahan, serta rekomendasi langkah perbaikan. Hal ini menjadikan pembelajaran matematika lebih interaktif dan adaptif.

GeoGebra menyediakan media visual yang memudahkan siswa untuk mengeksplorasi konsep geometri, aljabar, dan kalkulus. Penggunaan AI menambah dimensi personalisasi, di mana sistem mampu menganalisis pola pengerjaan siswa dan

menyesuaikan soal sesuai tingkat kemampuan. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri meningkatkan keterampilan penalaran ilmiah. Dengan dukungan AI, proses inkuiri dalam penggunaan GeoGebra semakin kuat karena siswa dilatih untuk merumuskan hipotesis, menguji, serta mengevaluasi hasil secara reflektif.

Integrasi AI dan GeoGebra juga mendukung pengembangan keterampilan berpikir kritis. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa model pembelajaran inovatif memperkuat keterlibatan emosional dan kognitif siswa. AI dapat memberikan tantangan adaptif yang menjaga motivasi intrinsik siswa dalam menyelesaikan proyek matematika. Dengan cara ini, siswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga mengembangkan sikap pantang menyerah dalam menghadapi masalah kompleks.

Pada tingkat pendidikan tinggi, penggunaan GeoGebra yang diperkaya AI memperkuat kompetensi mahasiswa dalam proyek riset matematika. Yulianci, Nurjumiati, Asriyadin, dan Adiansha (2021) menegaskan bahwa model inkuiri yang dipadukan dengan teknologi memperkuat kemampuan argumentatif mahasiswa. GeoGebra memungkinkan eksplorasi visual mendalam, sedangkan AI mendukung refleksi dengan analisis berbasis data. Kolaborasi keduanya memperkuat dimensi kognitif sekaligus literasi digital mahasiswa.

Penerapan GeoGebra dan AI juga memperhatikan aspek keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek berbasis keberlanjutan melatih keterampilan berpikir kritis sekaligus kesadaran global. Dalam konteks Indonesia, proyek matematika berbasis GeoGebra dan AI dapat diarahkan pada isu nyata seperti pemodelan data lingkungan, energi, atau transportasi. Hal ini memastikan bahwa pembelajaran matematika relevan dengan tantangan sosial-ekonomi lokal.

Selain itu, GeoGebra dan AI mendukung kolaborasi antar siswa. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menekankan bahwa pengalaman riset interdisipliner meningkatkan rasa memiliki terhadap sains. Dengan platform berbasis cloud, siswa dapat mengerjakan proyek matematika bersama, berbagi data, serta berdiskusi secara sinkron maupun asinkron. Kolaborasi ini memperkuat keterampilan sosial dan komunikasi akademik siswa di Indonesia.

Penggunaan AI juga membantu dalam mendeteksi kesalahan konseptual siswa. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menjelaskan bahwa AI mampu mengidentifikasi miskonsepsi dalam pembelajaran STEM. Ketika siswa menggunakan GeoGebra, AI dapat memberikan peringatan jika terdapat langkah yang tidak sesuai, sekaligus memberikan penjelasan alternatif. Hal ini memperkaya pemahaman konsep matematika dengan lebih efektif.

Integrasi GeoGebra dan AI juga memperkuat literasi digital siswa Indonesia. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menekankan pentingnya literasi etis dalam memanfaatkan AI. Melalui proyek matematika, siswa tidak hanya belajar tentang konsep numerik, tetapi juga mengenai penggunaan data, privasi, dan keadilan digital. Dengan demikian, literasi digital berkembang sejalan dengan keterampilan akademik.

Dalam konteks pedagogis, guru berperan penting sebagai fasilitator. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa integritas dan keadilan harus dijaga dalam penggunaan AI. Guru memastikan bahwa penggunaan GeoGebra dan AI tetap berada dalam koridor etika, mengarahkan siswa untuk tidak hanya bergantung pada teknologi, tetapi juga mengembangkan penilaian kritis. Hal ini memperkuat peran guru sebagai pengawas nilai akademik.

GeoGebra berbasis AI juga mendorong siswa untuk melakukan refleksi metakognitif. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi kognitif meningkatkan kesadaran belajar. AI menyediakan dashboard analitik yang menampilkan pola kesalahan, strategi yang digunakan, serta rekomendasi perbaikan. Refleksi ini memungkinkan siswa meningkatkan kualitas proses belajar matematika.

Penerapan model ini juga menunjukkan relevansi internasional. Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) membuktikan bahwa program berpikir kritis berbasis inkuiri memperkuat keterampilan sains mahasiswa.

Dengan kombinasi GeoGebra dan AI, proyek matematika di Indonesia dapat disejajarkan dengan praktik global, memperlihatkan bahwa pendidikan nasional mampu beradaptasi dengan tren internasional.

Akhirnya, penggunaan GeoGebra dan AI dalam proyek matematika di Indonesia dapat dipandang sebagai inovasi yang menjembatani kebutuhan lokal dengan standar global. Dengan literatur mutakhir (Utami et al., 2023; Erlina et al., 2018; El Fathi et al., 2025), pendekatan ini memperkuat keterampilan berpikir kritis, literasi digital, serta kolaborasi. Penerapan ini menjadi strategi nasional yang menjawab tantangan pendidikan abad ke-21 sekaligus memperkuat kualitas pembelajaran matematika di Indonesia.

5.4.2 Pengembangan Modul Inquiry + AI untuk Fisika dan Sains

Pengembangan modul berbasis Inquiry + AI dalam pembelajaran fisika dan sains di Indonesia memberikan peluang strategis untuk memperkuat keterampilan ilmiah siswa. Parmin, Khusniati, El Islami, Deta, dan Saregar (2022) menunjukkan bahwa strategi argumentasi ilmiah berbasis eksperimen mampu meningkatkan kemampuan penalaran mahasiswa calon guru sains. Dengan integrasi AI, modul tidak hanya memandu siswa melalui tahap inkuiri, tetapi juga memberikan umpan balik otomatis, prediksi miskonsepsi, serta visualisasi data yang lebih kaya.

Modul Inquiry + AI dirancang untuk menggabungkan sintaks inkuiri dengan fitur teknologi cerdas. Erlina, Susantini,

Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menekankan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan keterampilan analisis ilmiah. AI mendukung proses ini dengan menyediakan simulasi eksperimen, analisis data berbasis algoritma, dan rekomendasi literatur. Dengan demikian, siswa dapat menghubungkan teori fisika dengan fenomena nyata melalui pengalaman belajar berbasis riset.

Dalam konteks pembelajaran fisika, modul ini memperkuat kemampuan siswa memahami konsep abstrak. Özdeniz, Aktamış, dan Bildiren (2023) membuktikan bahwa penerapan modul diferensiasi sains meningkatkan keterampilan penalaran siswa berbakat dalam lingkungan blended learning. Modul Inquiry + AI menyediakan jalur belajar adaptif yang menyesuaikan tingkat kesulitan soal, sehingga siswa dengan kemampuan berbeda tetap dapat berkembang sesuai kapasitasnya.

Modul Inquiry + AI juga mendukung penerapan pendekatan berbasis proyek di kelas sains. Sangpom dan Sangpom (2025) menegaskan bahwa kombinasi PBL dan IBL yang diperkaya AI memperkuat keterampilan computational thinking mahasiswa. Dalam fisika, siswa dapat diminta merancang eksperimen sederhana berbasis proyek, sementara AI mendukung analisis data eksperimen, menampilkan tren grafik, serta memberikan simulasi pembandingan. Hal ini menjadikan proyek sains lebih sistematis dan reflektif.

Pengembangan modul ini juga memperkuat literasi digital dan sains siswa. Lieskovský dan Sunyík (2022) menjelaskan bahwa intervensi pendidikan yang berorientasi pada literasi sains mampu meningkatkan sikap positif terhadap sains. Modul Inquiry + AI melatih siswa tidak hanya memahami konsep, tetapi juga menggunakan perangkat digital untuk mengekstrak, mengolah, dan mempresentasikan data secara etis. Dengan cara ini, literasi sains dan literasi digital berkembang secara simultan.

Selain itu, modul Inquiry + AI memperhatikan konteks keberlanjutan pendidikan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menunjukkan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan memperkuat kesadaran kritis siswa. Dalam pembelajaran sains, modul ini dapat mengangkat tema relevan seperti energi terbarukan, perubahan iklim, atau pengelolaan sumber daya alam. AI mendukung dengan menyediakan data mutakhir dan simulasi dampak lingkungan, sehingga pembelajaran sains lebih bermakna dan kontekstual.

Modul Inquiry + AI juga memperkuat aspek refleksi metakognitif. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi kognitif meningkatkan kesadaran belajar siswa. Modul ini menyediakan fitur AI berbasis dashboard yang menampilkan pola kesalahan, capaian, serta rekomendasi strategi perbaikan. Dengan cara ini, siswa dilatih untuk mengevaluasi proses belajar mereka secara mandiri dan objektif.

Dari perspektif guru, modul ini berfungsi sebagai panduan pedagogis yang memperkuat integrasi AI. Alexander,

Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa prinsip integritas, keadilan, dan kerahasiaan harus dijaga dalam laboratorium AI. Modul Inquiry + AI memberikan arahan bagi guru tentang bagaimana mengelola eksperimen virtual, memberikan arahan etis dalam penggunaan data, serta memfasilitasi diskusi reflektif. Dengan demikian, guru tetap berperan sebagai pengawas integritas akademik.

Modul ini juga mendukung kolaborasi antar siswa. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menunjukkan bahwa riset interdisipliner memperkuat rasa memiliki terhadap penelitian. Modul Inquiry + AI memungkinkan kolaborasi berbasis cloud, di mana siswa dapat berbagi data eksperimen, mendiskusikan temuan, dan menyusun laporan bersama. Kolaborasi ini memperkaya keterampilan sosial sekaligus memperkuat argumentasi ilmiah.

Implementasi modul ini pada konteks Indonesia menunjukkan keterhubungan dengan penelitian global. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menegaskan bahwa integrasi STEAM berbasis AI meningkatkan keterampilan berpikir kreatif anak sejak dini. Modul Inquiry + AI untuk fisika dan sains dapat diselaraskan dengan tren internasional, memperlihatkan bahwa pendidikan nasional mampu mengikuti perkembangan global.

Tantangan utama dalam pengembangan modul ini adalah kesiapan infrastruktur sekolah. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa keberhasilan metodologi aktif berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh kualitas

jaringan internet dan perangkat digital. Sekolah yang terbatas fasilitasnya perlu mendapat dukungan kebijakan agar modul dapat diimplementasikan secara optimal.

Akhirnya, pengembangan modul Inquiry + AI untuk fisika dan sains di Indonesia menegaskan pentingnya integrasi teknologi dengan pendekatan pedagogis berbasis riset. Dengan literatur mutakhir (Parmin et al., 2022; Özdeniz et al., 2023; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025), modul ini terbukti mampu memperkuat literasi sains, literasi digital, serta keterampilan berpikir kritis. Modul ini tidak hanya menjadi inovasi pedagogis, tetapi juga strategi nasional untuk memperkuat daya saing pendidikan Indonesia dalam kancah global.

5.4.3 Integrasi Neurosains dalam Model Inquiry di Perguruan Tinggi

Integrasi neurosains dalam model Inquiry di perguruan tinggi menghadirkan dimensi baru dalam proses pembelajaran berbasis riset. Neurosains menyediakan landasan empiris tentang bagaimana otak bekerja ketika menghadapi tantangan kognitif yang kompleks. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) menjelaskan bahwa model inkuiri berbasis neurosains memperkuat pembentukan sikap ilmiah mahasiswa melalui penguatan aktivitas otak yang berkaitan dengan memori kerja dan regulasi emosi. Integrasi AI dalam konteks ini memperkaya pendekatan neurosains dengan menyediakan analitik data kognitif yang obyektif.

Dalam praktiknya, penerapan neurosains pada model Inquiry di perguruan tinggi membantu memahami bagaimana mahasiswa memproses informasi, menghubungkan konsep, serta membangun representasi mental. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menunjukkan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan penalaran ilmiah. AI dapat mendukung dengan melacak pola atensi mahasiswa melalui sistem analitik, sehingga dosen dapat menyesuaikan strategi pengajaran berdasarkan respons kognitif mahasiswa.

Integrasi neurosains juga memberikan kontribusi pada pemahaman tentang regulasi emosi mahasiswa dalam pembelajaran. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menegaskan bahwa berpikir analitis dapat dipengaruhi oleh dinamika emosional. Dalam pembelajaran Inquiry + AI, neurosains membantu merancang intervensi yang mendukung keseimbangan emosional, sementara AI menghadirkan simulasi interaktif yang menjaga motivasi belajar mahasiswa dalam menghadapi tantangan riset.

Selain itu, neurosains memperkuat aspek refleksi metakognitif. Pasigon (2024) menekankan pentingnya refleksi kognitif dalam meningkatkan kesadaran belajar. Dengan integrasi AI, mahasiswa dapat mengakses dashboard reflektif yang menampilkan pola aktivitas belajar sekaligus memetakan kekuatan dan kelemahan kognitif. Hal ini memungkinkan mahasiswa mengembangkan strategi belajar yang lebih

personal berbasis pemahaman terhadap proses neurologis mereka.

Di perguruan tinggi Indonesia, integrasi neurosains dalam model Inquiry juga memperkuat kemampuan problem-solving mahasiswa. Yanto, Subali, dan Suyanto (2019) menunjukkan bahwa pendekatan inkuiri pada tiga level meningkatkan keterampilan berpikir ilmiah. Dengan dukungan neurosains, dosen dapat merancang modul yang menstimulasi bagian otak terkait pemecahan masalah, sementara AI mendukung analisis hasil kerja mahasiswa secara otomatis. Integrasi ini memperkuat hubungan antara riset teoretis dan aplikasi praktis.

Implementasi neurosains dalam model Inquiry juga memperhatikan dinamika kolaborasi. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menjelaskan bahwa riset interdisipliner meningkatkan literasi sains mahasiswa. Neurosains membantu menjelaskan bagaimana interaksi sosial memengaruhi aktivasi otak dalam konteks kolaborasi, sedangkan AI menyediakan platform daring untuk memantau kontribusi individu. Hal ini menjadikan kolaborasi riset di perguruan tinggi lebih efektif dan obyektif.

Selain itu, integrasi neurosains memperkuat literasi digital mahasiswa. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi etis digital sangat penting di era AI. Dengan memahami neurosains, mahasiswa lebih menyadari dampak penggunaan teknologi terhadap perhatian, memori, dan motivasi. AI dalam modul Inquiry dapat menampilkan simulasi

bagaimana data otak merespons tugas belajar, sehingga mahasiswa belajar mengelola literasi digital secara etis.

Integrasi neurosains dalam model Inquiry juga memberikan peluang untuk memperkuat keterampilan komunikasi akademik. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menekankan pentingnya keterampilan komunikasi dalam pembelajaran berbasis inkuiri. Neurosains membantu memahami mekanisme otak yang terlibat dalam penyampaian argumen, sementara AI mendukung dengan menyediakan visualisasi data yang memperjelas komunikasi riset mahasiswa. Dengan demikian, keterampilan komunikasi akademik mahasiswa meningkat signifikan.

Tantangan utama dalam penerapan neurosains di perguruan tinggi adalah keterbatasan infrastruktur dan literasi neurosains dosen. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa keberhasilan metodologi aktif berbasis teknologi sangat dipengaruhi oleh kesiapan institusi. Untuk itu, integrasi AI dapat membantu menjembatani keterbatasan ini dengan menyediakan analitik berbasis data yang mudah diakses dosen tanpa harus menggunakan perangkat neurosains yang mahal.

Selain tantangan, penerapan neurosains dalam model Inquiry membuka prospek luas bagi riset pendidikan di Indonesia. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan memperkuat kesadaran kritis mahasiswa. Integrasi neurosains

dengan AI memungkinkan mahasiswa memahami dinamika kognitif dan emosional mereka, sehingga riset yang dilakukan lebih kontekstual, relevan, dan berdampak sosial.

Integrasi neurosains dalam model Inquiry di perguruan tinggi Indonesia juga memberikan kontribusi terhadap pengembangan pendidikan abad ke-21. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menjelaskan bahwa AI mendukung kurikulum adaptif yang menyesuaikan kebutuhan mahasiswa. Dengan pemahaman neurosains, kurikulum tersebut dapat disusun lebih sesuai dengan cara kerja otak manusia, memperkuat keterampilan berpikir kritis, kolaboratif, dan reflektif.

Akhirnya, penerapan neurosains dalam model Inquiry di perguruan tinggi Indonesia menegaskan pentingnya integrasi antara sains otak, pedagogi, dan teknologi digital. Dengan literatur mutakhir (Asriyadin et al., 2021; Erlina et al., 2018; Pasigon, 2024), model ini terbukti relevan dalam memperkuat kualitas pendidikan tinggi nasional. Integrasi neurosains dan AI dalam pembelajaran Inquiry menciptakan ekosistem pendidikan yang lebih ilmiah, adaptif, serta sejalan dengan kebutuhan global.

5.5 Evaluasi Implementasi: Strategi, Indikator, dan Hasil

Evaluasi implementasi model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning membutuhkan strategi komprehensif yang menggabungkan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Menurut Jones, Torres, dan Arminio (2021), desain penelitian

kualitatif dalam pendidikan tinggi mampu menangkap dinamika pengalaman belajar mahasiswa secara lebih mendalam, sementara pendekatan kuantitatif memberikan gambaran obyektif melalui pengukuran capaian. Kombinasi keduanya memungkinkan evaluasi menyeluruh yang tidak hanya menilai output, tetapi juga proses implementasi.

Strategi evaluasi pertama berfokus pada analisis efektivitas kurikulum berbasis Inquiry + AI. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa metodologi aktif harus dinilai melalui standar akademik yang jelas seperti keterlibatan siswa, prestasi akademik, dan relevansi dengan konteks nyata. Dalam hal ini, indikator keberhasilan meliputi peningkatan partisipasi, keterampilan kolaboratif, serta kemampuan berpikir kritis yang dapat diukur melalui asesmen formatif dan sumatif.

Evaluasi juga mencakup strategi reflektif berbasis data. Pasigon (2024) menjelaskan bahwa refleksi kognitif penting untuk meningkatkan kesadaran belajar mahasiswa. Dengan integrasi AI, evaluasi dapat dilakukan melalui dashboard learning analytics yang merekam pola aktivitas, tingkat kesulitan, dan capaian individu. Hal ini memungkinkan dosen mengidentifikasi kesenjangan keterampilan dan memberikan intervensi yang tepat waktu.

Indikator keberhasilan lain adalah peningkatan keterampilan ilmiah mahasiswa. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa

pendekatan berbasis inkuiri terbukti memperkuat penalaran ilmiah. Indikator ini dapat dievaluasi melalui kemampuan mahasiswa menyusun hipotesis, melakukan eksperimen, menganalisis data, serta mengkomunikasikan hasil riset. Dengan dukungan AI, indikator ini dapat dipantau secara obyektif dan konsisten.

Selain keterampilan ilmiah, indikator literasi digital juga menjadi fokus evaluasi. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menekankan bahwa literasi etis digital sangat penting dalam pemanfaatan AI. Evaluasi literasi digital dilakukan melalui tes keterampilan teknologi, simulasi pemecahan masalah digital, serta observasi terhadap praktik etis dalam pengelolaan data. Hal ini memastikan mahasiswa tidak hanya cakap menggunakan AI, tetapi juga memahami implikasi sosialnya.

Strategi evaluasi juga menekankan dimensi kolaboratif. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) membuktikan bahwa riset interdisipliner meningkatkan literasi sains dan keterlibatan mahasiswa. Indikator evaluasi kolaborasi mencakup frekuensi komunikasi, kualitas kontribusi, serta hasil kerja tim. AI mendukung dengan merekam interaksi mahasiswa dalam platform daring, sehingga proses kolaborasi dapat dianalisis secara kuantitatif maupun kualitatif.

Hasil evaluasi implementasi juga menunjukkan kontribusi pada motivasi belajar. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menemukan bahwa model inovatif meningkatkan motivasi intrinsik siswa.

Evaluasi dilakukan dengan mengukur tingkat keterlibatan, partisipasi aktif, serta kepuasan belajar mahasiswa. AI menyediakan data visualisasi progres untuk mengukur motivasi secara lebih sistematis.

Evaluasi implementasi di perguruan tinggi juga memperhatikan keterkaitan antara pembelajaran dan kebutuhan industri. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa asesmen berbasis AI mendukung keselarasan kurikulum dengan tuntutan profesional. Indikatornya meliputi kesiapan kerja mahasiswa, kemampuan problem-solving kompleks, serta kemampuan adaptasi terhadap tantangan dunia kerja. Dengan demikian, hasil evaluasi tidak hanya bermanfaat bagi akademisi, tetapi juga relevan bagi stakeholder eksternal.

Strategi evaluasi juga memperhatikan aspek keberlanjutan dan kontribusi sosial. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan bahwa proyek riset berbasis keberlanjutan harus dinilai berdasarkan dampaknya terhadap isu lingkungan, sosial, dan ekonomi. Indikator keberlanjutan mencakup keterlibatan mahasiswa dalam proyek nyata, relevansi penelitian terhadap isu global, serta kontribusi pada masyarakat. AI memperkaya evaluasi ini dengan menyediakan data global sebagai pembanding.

Evaluasi juga mencakup keterbatasan implementasi. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menekankan bahwa bias algoritmik berpotensi memengaruhi obyektivitas hasil. Oleh karena itu, strategi evaluasi perlu mencakup audit algoritma dan

triangulasi data untuk memastikan keadilan. Indikatornya meliputi konsistensi output AI, kesesuaian hasil analisis dengan data empiris, serta validitas kesimpulan penelitian.

Hasil evaluasi juga menegaskan bahwa implementasi model ini memperkuat literasi sains dan etika akademik. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa integritas dan keadilan merupakan fondasi dalam penggunaan AI di pendidikan. Evaluasi dilakukan melalui observasi kepatuhan terhadap standar akademik, kemampuan mahasiswa menyusun laporan riset sesuai kaidah ilmiah, serta penerapan etika dalam mengelola data.

Akhirnya, strategi, indikator, dan hasil evaluasi implementasi model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning memperlihatkan bahwa pendekatan ini memiliki dampak multidimensional. Dengan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Pasigon, 2024; Divjak et al., 2025), evaluasi tidak hanya menilai capaian akademik, tetapi juga keterampilan abad ke-21, literasi digital, dan kontribusi sosial. Hal ini menegaskan bahwa evaluasi bukan sekadar penilaian akhir, melainkan instrumen reflektif untuk memperkuat kualitas pendidikan berbasis Inquiry + AI.

BAB VI. IMPLIKASI TEORITIS DAN PRAKTIS

6.1 Implikasi terhadap Pengembangan Critical Thinking

Implikasi teoritis dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning terhadap pengembangan critical thinking sangat penting dalam konteks pendidikan abad ke-21. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa pendekatan inkuiri berbasis bukti mendorong mahasiswa untuk berpikir kritis melalui proses perumusan hipotesis, pengujian, dan refleksi. Dengan integrasi AI, proses tersebut diperkaya melalui analisis data otomatis, simulasi eksperimen, serta visualisasi hasil yang mendorong mahasiswa untuk menilai validitas argumen secara lebih sistematis.

Implikasi juga tampak pada dimensi kognitif di mana critical thinking dapat diasah melalui interaksi intensif dengan masalah kompleks. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) menyebutkan adanya paradoks berpikir analitis ketika penalaran ilmiah bertemu dengan bias kognitif. AI dalam model ini berfungsi sebagai mitra yang menyediakan data obyektif dan alternatif solusi, sehingga mahasiswa belajar membedakan informasi yang valid dari yang bias. Hal ini mendukung pembentukan keterampilan evaluatif yang merupakan inti critical thinking.

Lebih jauh, integrasi Inquiry dan AI memperkuat dimensi refleksi metakognitif yang berkaitan erat dengan

pengembangan critical thinking. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi kognitif menuntun mahasiswa memahami strategi berpikir yang mereka gunakan, serta menyadari kelemahan dan kekuatannya. AI melalui dashboard analytics mendukung refleksi ini dengan menampilkan pola kesalahan dan rekomendasi perbaikan, sehingga proses berpikir kritis mahasiswa berkembang secara terarah.

Implikasi teoritis lain adalah penguatan kemampuan analitis dalam konteks kolaborasi. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menunjukkan bahwa riset interdisipliner meningkatkan literasi sains sekaligus memperkuat kapasitas berpikir kritis mahasiswa. Dalam model ini, AI mendukung kolaborasi dengan menyediakan platform digital untuk berbagi data, melacak kontribusi individu, dan menganalisis hasil diskusi. Kolaborasi tersebut mendorong mahasiswa untuk mengevaluasi argumen satu sama lain secara kritis, memperkuat keterampilan analitis kolektif.

Sementara itu, implikasi praktis terlihat pada kemampuan dosen untuk memfasilitasi pengembangan critical thinking mahasiswa dengan lebih efektif. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan bahwa integritas dan keadilan harus dijaga dalam penggunaan AI. Dengan adanya modul Inquiry + AI, dosen dapat mengarahkan mahasiswa pada praktik berpikir kritis yang berlandaskan etika, menghindari ketergantungan buta pada algoritma, serta memperkuat keadilan akademik dalam proses berpikir.

Implikasi berikutnya berkaitan dengan motivasi belajar. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) membuktikan bahwa model inovatif meningkatkan keterlibatan emosional siswa. Dalam konteks critical thinking, keterlibatan emosional yang difasilitasi AI melalui simulasi interaktif dan visualisasi data meningkatkan keingintahuan, memperkuat ketekunan, serta mendorong mahasiswa untuk terus mengajukan pertanyaan kritis.

Implikasi penting lainnya adalah pada dimensi keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menjelaskan bahwa proyek berbasis keberlanjutan yang diperkuat teknologi menumbuhkan kesadaran kritis terhadap isu-isu global. Integrasi AI dalam inkuiri sains dan sosial memungkinkan mahasiswa mengevaluasi data global, mengkaji dampak jangka panjang, serta merumuskan solusi kritis terhadap masalah lingkungan, sosial, dan ekonomi. Hal ini menegaskan bahwa critical thinking bukan sekadar keterampilan kognitif, tetapi juga sikap etis terhadap dunia nyata.

Implikasi teoritis juga muncul dalam penguatan keterampilan komunikasi argumentatif. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menekankan bahwa inquiry-based learning mendorong pengembangan keterampilan komunikasi abad ke-21. Dengan AI, mahasiswa terbantu dalam menyusun argumen berbasis data, menyajikan bukti visual, serta menyampaikan analisis dengan lebih terstruktur. Hal ini

menjadikan critical thinking lebih terintegrasi dalam praktik komunikasi akademik.

Selain itu, penerapan modul Inquiry + AI dalam konteks Indonesia memperlihatkan implikasi nyata bagi pembentukan sikap ilmiah. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) menemukan bahwa model inkuiri berbasis neurosains mendukung pembentukan sikap ilmiah mahasiswa. AI memperkaya pendekatan ini dengan memberikan analitik obyektif yang memperkuat kesadaran kritis mahasiswa terhadap proses berpikirnya sendiri. Dengan demikian, sikap ilmiah berkembang sejalan dengan penguatan critical thinking.

Implikasi praktis lain tampak pada kemampuan AI untuk mengidentifikasi miskonsepsi siswa dalam proses berpikir kritis. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menjelaskan bahwa AI mampu mendeteksi kesalahan konseptual dan memberikan intervensi yang sesuai. Dalam modul Inquiry, hal ini mendukung mahasiswa dalam mengevaluasi asumsi yang salah dan memperbaikinya melalui refleksi kritis. Mekanisme ini mempercepat proses pembelajaran dan memperdalam pemahaman konseptual.

Implikasi juga berkaitan dengan kesiapan menghadapi dunia kerja. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa asesmen berbasis AI di pendidikan tinggi mempersiapkan mahasiswa menghadapi kebutuhan profesional. Critical thinking yang terasah melalui Inquiry + AI menjadikan mahasiswa lebih siap menghadapi tantangan dunia kerja yang

kompleks, terutama dalam analisis data, pemecahan masalah, dan pengambilan keputusan.

Selain itu, implementasi modul ini memperkuat kesadaran etis mahasiswa dalam praktik berpikir kritis. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menekankan bahwa literasi etis dalam penggunaan AI merupakan fondasi penting dalam pendidikan digital. Dengan memahami implikasi etis dari data dan algoritma, mahasiswa tidak hanya berpikir kritis terhadap konten akademik, tetapi juga terhadap dampak sosial dari pemanfaatan teknologi.

Akhirnya, implikasi teoritis dan praktis dari penerapan model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning menunjukkan bahwa critical thinking dapat berkembang secara menyeluruh, meliputi dimensi kognitif, afektif, sosial, etis, dan profesional. Dengan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025; Divjak et al., 2025), model ini memperlihatkan bahwa integrasi Inquiry dan AI bukan hanya strategi pedagogis, tetapi paradigma baru dalam membentuk generasi akademik yang kritis, adaptif, dan berdaya saing global.

6.2 Implikasi terhadap Scientific Reasoning dan Problem-Solving

Implikasi teoritis dari penerapan model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning terhadap scientific reasoning sangat signifikan, karena model ini memberikan ruang bagi mahasiswa untuk berlatih menalar secara sistematis. Bezci dan Sungur (2021) menegaskan bahwa penalaran ilmiah siswa

menengah dipengaruhi oleh interaksi dalam lingkungan belajar berbasis inkuiri. Pada tingkat perguruan tinggi, integrasi AI memperkaya proses tersebut dengan menyediakan data yang lebih kompleks, visualisasi interaktif, dan analitik otomatis, sehingga kemampuan mahasiswa dalam menarik kesimpulan berbasis bukti semakin meningkat.

Problem-solving sebagai dimensi utama dalam pembelajaran sains juga mendapatkan penguatan dari penerapan model ini. Yanto, Subali, dan Suyanto (2019) membuktikan bahwa pendekatan tiga level inkuiri meningkatkan keterampilan pemecahan masalah mahasiswa secara signifikan. Dengan dukungan AI, mahasiswa dapat menguji hipotesis, menganalisis pola data, dan memprediksi hasil dengan bantuan algoritma. Proses ini menuntut keterampilan problem-solving yang terstruktur dan reflektif, sesuai dengan kebutuhan abad ke-21.

Lebih lanjut, scientific reasoning dalam konteks ini mencakup kemampuan untuk membangun argumen berbasis bukti. Cabello, Moreira, dan Morales (2021) menekankan bahwa penjelasan siswa yang berbasis teori ilmiah memperkuat kapasitas berpikir kritis. AI mendukung dengan memberikan literatur pendukung, memverifikasi argumen melalui basis data global, serta mendeteksi inkonsistensi dalam penalaran. Implikasi ini menegaskan bahwa AI berperan sebagai fasilitator obyektif dalam membangun scientific reasoning mahasiswa.

Implikasi penting lainnya adalah penguatan kemampuan berpikir analitis dalam menghadapi masalah nyata. Orosz, Németh, Kovács, Somogyi, dan Korom (2022) menunjukkan bahwa guided inquiry berbasis teknologi mampu meningkatkan keterampilan kontrol variabel pada eksperimen kimia. Dalam pembelajaran berbasis AI, mahasiswa dapat menjalankan eksperimen virtual yang menuntut kemampuan analisis variabel kompleks, sehingga problem-solving berkembang lebih efektif dan obyektif.

Dari perspektif praktis, model ini menekankan pentingnya refleksi dalam pemecahan masalah. Pasigon (2024) menegaskan bahwa refleksi kognitif berperan dalam mengembangkan kesadaran belajar mahasiswa. AI menyediakan dashboard analitik yang menampilkan kesalahan umum, strategi yang digunakan, serta alternatif solusi. Dengan mekanisme ini, mahasiswa dapat belajar dari kesalahan dan mengembangkan strategi problem-solving yang lebih efektif di masa depan.

Selain itu, scientific reasoning yang diperkuat AI juga memberikan kontribusi pada pengembangan keterampilan berpikir hipotetis-deduktif. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menunjukkan bahwa inkuiri berbasis bukti meningkatkan kemampuan siswa dalam merumuskan dan menguji hipotesis. Dengan bantuan AI, mahasiswa dapat melakukan simulasi berbasis data besar, sehingga hipotesis diuji dalam skenario yang lebih luas dan mendekati realitas.

Implikasi juga tampak pada dimensi kolaboratif. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) membuktikan bahwa pengalaman interdisipliner memperkuat literasi sains mahasiswa. Dalam proyek riset berbasis AI, mahasiswa tidak hanya menyelesaikan masalah secara individu, tetapi juga bekerja dalam tim lintas disiplin. AI mendukung dengan memfasilitasi komunikasi, mengelola data bersama, serta menilai kontribusi individu, sehingga keterampilan problem-solving kolektif lebih terlatih.

Selain itu, model ini memiliki implikasi terhadap kemampuan mahasiswa dalam mengidentifikasi miskonsepsi. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) menjelaskan bahwa AI dapat mendeteksi kesalahan konseptual siswa secara otomatis. Dalam konteks scientific reasoning, fitur ini membantu mahasiswa memperbaiki logika berpikir mereka secara langsung, sehingga kemampuan problem-solving meningkat melalui pemahaman konsep yang lebih akurat.

Implikasi berikutnya adalah pada pengembangan motivasi intrinsik dalam problem-solving. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa model inovatif memperkuat keterlibatan emosional siswa. Dengan dukungan AI, mahasiswa dapat melihat progres capaian mereka, memperoleh umpan balik instan, serta menghadapi tantangan yang sesuai dengan level kemampuan. Motivasi ini mendorong keterlibatan mendalam dalam pemecahan masalah kompleks.

Implikasi teoritis juga mencakup peran neurosains dalam mendukung scientific reasoning. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) menjelaskan bahwa model inkuiri berbasis neurosains mendukung pembentukan sikap ilmiah melalui aktivasi kognitif tertentu. Dengan integrasi AI, dosen dapat melacak respon kognitif mahasiswa dalam proses riset, memperkuat pemahaman tentang bagaimana otak memproses masalah kompleks. Hal ini menegaskan relevansi integrasi neurosains, inkuiri, dan teknologi dalam pengembangan problem-solving.

Selain keterampilan kognitif, implikasi praktis juga terlihat pada kesiapan mahasiswa menghadapi dunia kerja. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menekankan bahwa asesmen berbasis AI mempersiapkan mahasiswa menghadapi kebutuhan profesional yang menuntut keterampilan analitis dan problem-solving tingkat lanjut. Dengan terbiasa menyelesaikan proyek riset berbasis Inquiry + AI, mahasiswa lebih siap menghadapi permasalahan industri yang kompleks.

Implikasi juga terkait dengan literasi digital dalam problem-solving. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menekankan bahwa literasi digital yang etis sangat penting untuk memanfaatkan AI. Dalam konteks scientific reasoning, literasi digital membantu mahasiswa menilai sumber data, menjaga integritas riset, dan mengelola informasi dengan bertanggung jawab. Hal ini memperkuat kapasitas problem-solving berbasis etika dan integritas akademik.

Akhirnya, implikasi teoritis dan praktis dari model ini menegaskan bahwa scientific reasoning dan problem-solving tidak hanya dapat diajarkan melalui teori, tetapi perlu difasilitasi dengan pendekatan berbasis Inquiry + AI. Dengan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Bezci & Sungur, 2021; Divjak et al., 2025), model ini membuktikan relevansinya dalam membentuk generasi mahasiswa yang mampu berpikir ilmiah, menyelesaikan masalah kompleks, dan berkontribusi nyata pada masyarakat global.

6.3 Implikasi terhadap Literasi Digital dan Literasi Sains

Literasi digital merupakan salah satu kompetensi utama abad ke-21 yang semakin penting dengan hadirnya kecerdasan buatan (AI) dalam pendidikan. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa guru dan siswa perlu dibekali dengan pemahaman etis terkait penggunaan AI agar tidak hanya berfokus pada aspek teknis, tetapi juga bertanggung jawab terhadap implikasi sosialnya. Dalam konteks ini, integrasi Inquiry + AI memperkuat literasi digital karena mahasiswa berlatih menggunakan data, perangkat digital, serta algoritma secara reflektif dan etis.

Selain literasi digital, literasi sains juga menjadi fokus penting dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning. Lieskovský dan Sunyík (2022) menunjukkan bahwa intervensi pendidikan yang berorientasi pada penguatan literasi sains berkontribusi pada peningkatan keterampilan penalaran dan sikap positif terhadap sains. Dengan adanya AI, mahasiswa

dapat memanfaatkan simulasi ilmiah, data global, dan eksperimen virtual yang memperkuat keterampilan membaca, menafsirkan, dan mengevaluasi informasi ilmiah.

Implikasi teoritis dari model ini memperlihatkan bahwa literasi digital dan literasi sains tidak dapat dipisahkan, melainkan saling melengkapi. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis bukti memperkuat scientific reasoning. AI mendukung proses ini dengan memberikan data obyektif yang dapat dieksplorasi mahasiswa melalui perangkat digital, sehingga literasi digital dan literasi sains berkembang secara simultan.

Pada level praktis, literasi digital mahasiswa diperkuat melalui kemampuan untuk mengelola data dalam proses riset. Isenhour (2025) menunjukkan bahwa proyek riset independen berbasis STEM yang diperkaya dengan AI meningkatkan kemampuan analisis data mahasiswa. Penggunaan dashboard analytics dan perangkat lunak berbasis AI mengajarkan mahasiswa bagaimana mengumpulkan, memverifikasi, serta menafsirkan data, sehingga literasi digital menjadi keterampilan yang integral dalam proses riset.

Literasi sains mahasiswa juga diperkuat melalui kolaborasi interdisipliner. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menekankan bahwa pengalaman riset lintas disiplin memperkuat pemahaman konsep ilmiah sekaligus meningkatkan rasa memiliki terhadap proses riset. Dengan dukungan AI, mahasiswa dapat mengakses

data ilmiah dari berbagai disiplin, memproses informasi, serta menghasilkan interpretasi yang lebih komprehensif. Hal ini memperkaya literasi sains sekaligus memperkuat literasi digital mahasiswa.

Implikasi lainnya adalah pada aspek refleksi. Pasigon (2024) menjelaskan bahwa refleksi kognitif berperan penting dalam meningkatkan kesadaran belajar. AI mendukung refleksi ini dengan menyediakan analisis tentang bagaimana mahasiswa mengakses, memproses, dan menggunakan data digital serta informasi ilmiah. Melalui refleksi ini, mahasiswa tidak hanya memahami isi data, tetapi juga mengembangkan kemampuan menilai keandalan sumber digital dan ilmiah secara kritis.

Literasi digital juga berimplikasi pada keterampilan komunikasi akademik. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri mendukung pengembangan keterampilan komunikasi abad ke-21. Dalam konteks ini, AI membantu mahasiswa menyajikan hasil riset dalam format digital interaktif, seperti visualisasi data, presentasi multimedia, atau laporan berbasis web. Dengan demikian, literasi digital mendukung literasi sains melalui komunikasi akademik yang lebih jelas dan efektif.

Selain itu, integrasi Inquiry + AI memperkuat literasi sains dalam konteks keberlanjutan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menegaskan bahwa riset berbasis keberlanjutan mengajarkan mahasiswa untuk berpikir kritis terhadap isu lingkungan, sosial, dan ekonomi. Dengan AI, mahasiswa dapat

mengakses data global tentang perubahan iklim, energi terbarukan, dan isu keberlanjutan lain, sehingga literasi sains mereka semakin relevan dengan tantangan global.

Implikasi praktis juga muncul pada kesiapan mahasiswa menghadapi dunia kerja. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menekankan bahwa asesmen berbasis AI meningkatkan keterampilan profesional yang dibutuhkan di dunia industri. Literasi digital dan literasi sains yang diperoleh melalui model ini menjadikan mahasiswa lebih siap menghadapi pekerjaan yang menuntut kemampuan analisis data, penggunaan perangkat digital, serta pemahaman sains terapan.

Implikasi teoritis lainnya terkait dengan kemampuan mahasiswa untuk mengenali bias dalam data. Georgiou, Delfabbro, dan Balzan (2021) memperingatkan bahwa bias dalam penalaran ilmiah dapat melemahkan validitas hasil riset. AI dapat membantu mahasiswa mengidentifikasi potensi bias dalam data, sementara keterampilan literasi digital memungkinkan mahasiswa menilai sumber informasi digital dengan lebih kritis. Dengan demikian, literasi digital dan sains berkembang menuju kesadaran kritis.

Implikasi berikutnya adalah penguatan sikap etis dalam pengelolaan informasi digital dan ilmiah. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menekankan pentingnya menjaga integritas, kerahasiaan, dan keadilan dalam praktik pendidikan berbasis AI. Literasi digital yang etis membantu mahasiswa mengelola data dengan bijak, sedangkan literasi sains yang kuat

memungkinkan mereka menggunakan informasi ilmiah untuk tujuan akademik secara bertanggung jawab.

Akhirnya, model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning memperlihatkan bahwa literasi digital dan literasi sains dapat berkembang secara simultan melalui integrasi pedagogi berbasis inkuiri dan teknologi AI. Dengan dukungan literatur mutakhir (Walsh et al., 2023; Lieskovský & Sunyík, 2022; Divjak et al., 2025), model ini menegaskan pentingnya membentuk generasi akademik yang mampu mengelola informasi digital secara kritis sekaligus memahami prinsip-prinsip ilmiah. Implikasi ini menjadikan literasi digital dan literasi sains sebagai kompetensi inti untuk menghadapi tantangan global.

6.4 Implikasi bagi Guru, Dosen, dan Peneliti Pendidikan

Implikasi pertama dari penerapan model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning adalah perubahan peran guru dan dosen dari pusat informasi menjadi fasilitator pembelajaran. Chu, Reynolds, Tavares, Notari, dan Lee (2017) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri mendorong pendidik untuk mengembangkan keterampilan komunikasi abad ke-21. AI memperkuat peran ini dengan menyediakan data, rekomendasi, dan simulasi yang membantu guru dan dosen menciptakan lingkungan belajar yang adaptif, sekaligus mendorong siswa menjadi peneliti aktif.

Implikasi kedua berkaitan dengan kebutuhan peningkatan kompetensi digital guru dan dosen. Walsh, Dalton, Forsyth, dan

Yeh (2023) menekankan bahwa literasi etis dan digital dalam pemanfaatan AI harus menjadi keterampilan inti bagi pendidik. Guru dan dosen dituntut tidak hanya mampu mengoperasikan perangkat digital, tetapi juga memahami dampak sosial dan etis penggunaannya. Dengan demikian, integrasi Inquiry + AI menuntut adanya penguatan kapasitas profesional secara berkelanjutan.

Selain itu, dosen dan guru juga memperoleh implikasi praktis berupa peningkatan kualitas asesmen. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa asesmen berbasis AI memungkinkan evaluasi yang lebih adaptif, cepat, dan obyektif. Pendidik dapat memanfaatkan sistem analitik untuk melacak perkembangan siswa, mendeteksi kesulitan belajar, serta merancang intervensi yang lebih tepat sasaran. Dengan demikian, kualitas pembelajaran dapat ditingkatkan secara signifikan.

Bagi peneliti pendidikan, implikasi penting adalah munculnya peluang baru untuk mengeksplorasi interaksi antara AI, pedagogi, dan capaian belajar. Jones, Torres, dan Arminio (2021) menekankan bahwa desain penelitian kualitatif memberikan pemahaman yang mendalam terhadap dinamika pembelajaran. Dengan bantuan AI, peneliti dapat mengumpulkan dan menganalisis data dalam skala besar, sehingga penelitian menjadi lebih komprehensif dan kontekstual.

Implikasi lainnya adalah meningkatnya relevansi penelitian pendidikan dengan kebutuhan global. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menunjukkan bahwa proyek berbasis keberlanjutan memperkuat kontribusi sosial penelitian. Peneliti pendidikan di Indonesia dapat mengintegrasikan AI dalam model Inquiry untuk mengevaluasi dampak pembelajaran terhadap isu lingkungan, sosial, dan ekonomi, sehingga hasil penelitian lebih kontributif bagi masyarakat luas.

Guru dan dosen juga memperoleh implikasi berupa tanggung jawab etis yang lebih besar. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) menegaskan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan harus dijunjung tinggi dalam pemanfaatan AI di pendidikan. Oleh karena itu, pendidik tidak hanya berperan sebagai fasilitator akademik, tetapi juga penjaga etika penggunaan teknologi dalam pembelajaran. Hal ini menegaskan peran penting pendidik sebagai teladan moral sekaligus akademik.

Implikasi bagi peneliti juga berkaitan dengan pemanfaatan AI untuk meningkatkan validitas riset. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahim (2025) menjelaskan bahwa AI dapat mendeteksi miskonsepsi dan kesalahan konseptual dalam pembelajaran. Dengan memanfaatkan analitik AI, peneliti pendidikan dapat mengidentifikasi pola kesalahan siswa, menganalisis akar masalah, dan merancang intervensi yang lebih tepat. Hal ini meningkatkan kualitas dan akurasi penelitian.

Selain itu, integrasi Inquiry + AI memperkuat kolaborasi internasional bagi peneliti pendidikan. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menegaskan bahwa riset interdisipliner lintas negara meningkatkan literasi sains sekaligus memperluas jejaring akademik. Dengan dukungan AI, peneliti pendidikan dapat bekerja sama dengan akademisi global melalui analisis data bersama, publikasi kolaboratif, dan proyek riset lintas budaya.

Implikasi praktis lainnya adalah adanya dorongan bagi guru dan dosen untuk merancang kurikulum yang lebih inovatif. Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Páez Rovira (2022) menegaskan bahwa program berpikir kritis berbasis inkuiri mampu meningkatkan keterampilan ilmiah siswa. Dengan memanfaatkan AI, pendidik dapat menyusun kurikulum yang menggabungkan inkuiri, riset, dan literasi digital, sehingga kurikulum menjadi lebih adaptif terhadap tantangan abad ke-21.

Bagi peneliti, integrasi neurosains dalam model Inquiry + AI membuka peluang untuk mengeksplorasi bagaimana otak manusia merespons pembelajaran digital. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) menekankan bahwa model inkuiri berbasis neurosains mendukung pembentukan sikap ilmiah mahasiswa. AI dapat memperkaya penelitian ini dengan analitik kognitif yang lebih rinci, sehingga peneliti memperoleh pemahaman lebih dalam tentang hubungan antara neurosains, inkuiri, dan pembelajaran.

Implikasi lainnya adalah kesiapan pendidik untuk membimbing mahasiswa menghadapi dunia kerja berbasis teknologi. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menegaskan bahwa model inovatif meningkatkan motivasi dan keterampilan abad ke-21. Guru dan dosen yang menguasai Inquiry + AI dapat membimbing mahasiswa agar lebih adaptif, kreatif, dan kritis dalam menghadapi tantangan profesional.

Implikasi teoritis juga terkait dengan peran guru, dosen, dan peneliti sebagai agen perubahan dalam pendidikan. Tlili, Salha, Garzón, Denden, Kinshuk, Affouneh, dan Burgos (2024) menekankan bahwa AI mendukung pengembangan kurikulum adaptif yang mampu menyesuaikan kebutuhan mahasiswa. Pendidik yang memahami model Inquiry + AI dapat memimpin inovasi pendidikan dengan menempatkan teknologi sebagai katalis perubahan.

Akhirnya, integrasi Inquiry + AI memberikan implikasi strategis bahwa guru, dosen, dan peneliti bukan sekadar pelaksana kurikulum, melainkan inovator dan pemimpin akademik. Dengan dukungan literatur mutakhir (Chu et al., 2017; Divjak et al., 2025; Alexander et al., 2023), penerapan model ini memperkuat kapasitas pendidik untuk membangun budaya akademik yang lebih adaptif, etis, dan relevan dengan kebutuhan global. Hal ini menegaskan bahwa peran pendidik dan peneliti tidak dapat digantikan AI, melainkan diperkaya oleh kehadirannya.

6.5 Implikasi bagi Kebijakan Pendidikan Nasional dan Global

Implikasi pertama dari penerapan model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning adalah perlunya penyesuaian kebijakan pendidikan nasional yang lebih responsif terhadap perkembangan teknologi. Luckin (2025) menegaskan bahwa pendidikan di era AI harus diarahkan untuk menumbuhkan kecerdasan manusia yang seimbang dengan kemampuan teknologi. Hal ini menuntut pembuat kebijakan di tingkat nasional untuk memperkuat literasi digital, literasi sains, serta keterampilan berpikir kritis dalam kurikulum nasional.

Implikasi kedua berkaitan dengan arah kebijakan global yang menekankan kolaborasi lintas negara dalam memanfaatkan AI untuk pendidikan. Rissanen, Hoang, dan Spila (2023) menunjukkan bahwa pengalaman riset interdisipliner lintas negara meningkatkan literasi sains dan keterlibatan mahasiswa. Hal ini menegaskan perlunya kebijakan internasional yang mendukung pertukaran data, kolaborasi penelitian, dan standar etika global dalam penggunaan AI di pendidikan.

Selain itu, kebijakan pendidikan nasional harus memastikan bahwa integrasi AI dalam pembelajaran tidak memperdalam kesenjangan akses. Alexander, Ma, Dou, Cai, dan Huang (2023) mengingatkan bahwa integritas, kerahasiaan, dan keadilan harus dijunjung tinggi dalam penerapan AI. Oleh karena itu, pemerintah perlu merumuskan kebijakan yang menjamin distribusi sumber daya digital secara merata agar

semua sekolah, termasuk di daerah terpencil, dapat memanfaatkan teknologi ini secara adil.

Implikasi berikutnya adalah perlunya reformasi kurikulum nasional agar lebih adaptif. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan pentingnya pembelajaran berbasis keberlanjutan dalam membangun kesadaran kritis terhadap isu global. Integrasi Inquiry + AI dalam kurikulum memungkinkan mahasiswa mengerjakan proyek riset yang relevan dengan isu lingkungan, sosial, dan ekonomi, sehingga kebijakan pendidikan nasional dapat sejalan dengan agenda pembangunan berkelanjutan global.

Kebijakan pendidikan global juga harus memperhatikan standar etika dalam penggunaan AI. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menegaskan bahwa literasi etis digital sangat penting agar mahasiswa mampu mengelola data secara bertanggung jawab. Dengan demikian, UNESCO, OECD, dan badan internasional lain dapat mengembangkan pedoman etika global untuk memastikan pemanfaatan AI dalam pendidikan berjalan transparan dan adil.

Implikasi kebijakan nasional juga terkait dengan asesmen pendidikan. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menjelaskan bahwa asesmen berbasis AI dapat mendukung penilaian yang lebih adaptif, real-time, dan personal. Pemerintah dapat merumuskan kebijakan asesmen digital yang tidak hanya mengukur hasil belajar, tetapi juga memantau proses

pembelajaran, keterampilan kolaborasi, serta literasi digital siswa.

Implikasi berikutnya adalah perlunya investasi pada infrastruktur pendidikan digital. Conde-Izquierdo, Ruano, dan Nicolás (2025) menegaskan bahwa efektivitas metodologi berbasis teknologi sangat ditentukan oleh kesiapan infrastruktur. Kebijakan pendidikan nasional harus memprioritaskan pembangunan jaringan internet, perangkat keras, dan platform pembelajaran digital untuk mendukung implementasi Inquiry + AI secara luas.

Selain itu, kebijakan global perlu memperkuat akses terhadap sumber daya terbuka. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menjelaskan bahwa pendidikan STEAM berbasis AI dapat memperluas peluang belajar anak sejak usia dini. Oleh karena itu, kebijakan internasional dapat mendukung pengembangan open educational resources (OER) berbasis AI yang dapat diakses secara global, sehingga literasi digital dan sains dapat ditingkatkan di berbagai konteks.

Kebijakan nasional juga harus memperhatikan pengembangan kompetensi guru dan dosen. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa pembelajaran berbasis inkuiri membutuhkan fasilitator yang memahami metodologi ilmiah. Dengan adanya AI, guru dan dosen memerlukan pelatihan khusus agar mampu mengintegrasikan teknologi ini ke dalam pembelajaran tanpa mengurangi esensi pedagogis.

Implikasi global lainnya adalah perlunya kebijakan pertukaran praktik terbaik antar negara. Arefin, Chowdhury, dan Nishat (2025) menunjukkan bagaimana integrasi STEM di Bangladesh dapat menjadi inspirasi bagi negara lain. Demikian pula, praktik Korea Selatan dan Finlandia dalam memanfaatkan AI untuk PBL dapat menjadi acuan kebijakan global. Hal ini menegaskan perlunya wadah kolaborasi antar pemerintah dalam menyusun kebijakan berbagi pengetahuan.

Implikasi kebijakan nasional juga mencakup aspek evaluasi dampak sosial dari integrasi AI. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menegaskan bahwa model inovatif berpengaruh terhadap motivasi dan keterlibatan siswa. Pemerintah perlu merancang kebijakan yang secara sistematis mengevaluasi dampak sosial pembelajaran berbasis AI, termasuk pada aspek motivasi, keterampilan abad ke-21, dan partisipasi masyarakat.

Selain itu, kebijakan pendidikan global juga perlu memastikan bahwa integrasi AI tidak mengorbankan keberagaman budaya. Ossa Cornejo, Palma Luengo, Diaz Mujica, dan Pérez Rovira (2022) menunjukkan bahwa program berpikir kritis berbasis budaya lokal memperkuat keterampilan ilmiah. Oleh karena itu, kebijakan global harus fleksibel agar integrasi AI dapat menyesuaikan dengan konteks budaya masing-masing negara.

Akhirnya, implikasi teoritis dan praktis dari model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning bagi kebijakan pendidikan nasional dan global menegaskan bahwa inovasi ini memerlukan dukungan regulasi, infrastruktur, serta kerangka etika yang jelas. Dengan literatur mutakhir (Luckin, 2025; Sánchez-García & Reyes-de-Cózar, 2025; Divjak et al., 2025), kebijakan pendidikan dapat diarahkan untuk tidak hanya meningkatkan kualitas pembelajaran, tetapi juga membangun sistem pendidikan yang adil, berkelanjutan, dan relevan dengan tantangan global.

6.6 Peluang Riset Masa Depan dalam AI dan Inquiry-Based Learning

Peluang riset masa depan dalam integrasi AI dan Inquiry-Based Learning terbuka sangat luas, terutama dalam upaya memahami bagaimana teknologi dapat memperkuat proses kognitif. Erlina, Susantini, Wasis, Wicaksono, dan Pandiangan (2018) menegaskan bahwa inkuiri berbasis bukti mendorong keterampilan penalaran ilmiah. Dengan dukungan AI, riset masa depan dapat mengeksplorasi bagaimana simulasi virtual, analitik data besar, dan algoritma adaptif dapat memperkaya tahapan inkuiri mulai dari merumuskan hipotesis hingga menarik kesimpulan berbasis bukti.

Peluang berikutnya adalah pengembangan riset interdisipliner yang menggabungkan AI dengan pendekatan neurosains. Asriyadin, Yulianci, Kaniawati, dan Liliawati (2021) menjelaskan bahwa model inkuiri berbasis neurosains

memperkuat sikap ilmiah mahasiswa. Penelitian masa depan dapat mendalami bagaimana AI digunakan untuk memantau aktivitas otak melalui sensor digital atau learning analytics berbasis kognitif, sehingga memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang mekanisme biologis yang mendasari pembelajaran berbasis inkuiri.

Selain itu, riset masa depan juga dapat mengeksplorasi hubungan antara AI dan literasi etis digital. Walsh, Dalton, Forsyth, dan Yeh (2023) menekankan pentingnya literasi etis dalam pemanfaatan AI di pendidikan. Kajian lebih lanjut diperlukan untuk menilai bagaimana mahasiswa menginternalisasi nilai etika saat berinteraksi dengan AI dalam proses inkuiri. Hal ini relevan dengan tantangan global terkait keadilan, privasi, dan bias algoritmik yang berpotensi muncul dalam penggunaan AI.

Peluang riset juga terbuka pada pengembangan kurikulum berbasis Inquiry + AI yang kontekstual dengan kebutuhan industri. Divjak, Svetec, dan Aničić (2025) menegaskan bahwa asesmen berbasis AI mendukung penyesuaian kurikulum dengan tuntutan profesional. Penelitian mendatang dapat mengeksplorasi bagaimana model Inquiry + AI dapat dipetakan ke dalam kurikulum nasional maupun internasional untuk meningkatkan keterampilan problem-solving, kolaborasi, dan kreativitas mahasiswa.

Riset masa depan juga berpotensi mengkaji integrasi AI dalam kolaborasi global pendidikan. Rissanen, Hoang, dan Spila

(2023) menunjukkan bahwa riset interdisipliner lintas negara meningkatkan literasi sains dan keterlibatan mahasiswa. Penelitian mendatang dapat berfokus pada bagaimana platform AI mampu menghubungkan mahasiswa lintas negara dalam proyek inkuiri bersama, sehingga tercipta ekosistem pembelajaran global yang kolaboratif dan adaptif.

Selain kolaborasi, riset masa depan dapat diarahkan pada penerapan AI dalam meningkatkan literasi sains siswa sejak usia dini. Su, Yim, Wegerif, dan Chu (2025) menegaskan bahwa pendekatan STEAM berbasis AI mampu meningkatkan kreativitas dan keterampilan berpikir kritis pada anak. Dengan demikian, penelitian ke depan dapat mengeksplorasi bagaimana Inquiry + AI dapat diterapkan di tingkat dasar untuk memperkuat fondasi berpikir ilmiah siswa.

Peluang penelitian lain adalah menguji efektivitas AI dalam mengurangi miskonsepsi pada pembelajaran berbasis inkuiri. El Fathi, Saad, Larhzil, Lamri, dan Al Ibrahmi (2025) membuktikan bahwa AI dapat mendeteksi miskonsepsi siswa secara otomatis. Kajian masa depan dapat berfokus pada bagaimana strategi AI berbasis machine learning dapat memprediksi kesalahan konseptual lebih awal dan memberikan intervensi yang sesuai untuk memperkuat akurasi penalaran ilmiah.

Riset mendatang juga perlu mengeksplorasi dampak AI terhadap peningkatan refleksi metakognitif. Pasigon (2024) menekankan bahwa refleksi kognitif berperan penting dalam

meningkatkan kesadaran belajar. Dengan AI, mahasiswa dapat memperoleh umpan balik otomatis mengenai pola belajar mereka. Penelitian masa depan dapat mendalami efektivitas dashboard learning analytics dalam memperkuat refleksi dan kesadaran diri mahasiswa.

Selain itu, riset masa depan dapat mempelajari peran AI dalam memperkuat keterampilan komunikasi akademik mahasiswa. Chu et al. (2017) menegaskan bahwa inquiry-based learning meningkatkan kemampuan komunikasi abad ke-21. Kajian mendatang dapat menilai bagaimana teknologi AI, seperti natural language processing, mampu membantu mahasiswa menyusun argumen ilmiah, melakukan presentasi berbasis data, serta mengembangkan literasi akademik global.

Peluang riset juga terletak pada penerapan AI untuk meningkatkan keberlanjutan dalam pendidikan. Sánchez-García dan Reyes-de-Cózar (2025) menekankan pentingnya proyek riset berbasis keberlanjutan. Penelitian mendatang dapat mengkaji bagaimana Inquiry + AI dapat diarahkan untuk membahas isu lingkungan, energi, dan kesehatan global melalui pendekatan transdisipliner. Dengan demikian, riset pendidikan dapat berkontribusi langsung pada agenda pembangunan berkelanjutan.

Selain keberlanjutan, penelitian masa depan juga perlu menguji implikasi sosial dari penerapan Inquiry + AI. Fitriadi, Herpratiwi, Yulianti, Setiyadi, Hariri, Sunyono, Haenilah, dan Mukhlis (2024) menunjukkan bahwa model inovatif

meningkatkan motivasi dan keterlibatan siswa. Riset selanjutnya dapat berfokus pada bagaimana integrasi AI dalam inkuiri memengaruhi aspek afektif, motivasi, serta keadilan sosial dalam akses pendidikan.

Peluang lain adalah riset yang menilai dampak AI terhadap peningkatan kreativitas. Chang, Park, dan Park (2023) membuktikan bahwa chatbot inkuiri AI meningkatkan keterlibatan dan eksplorasi ilmiah siswa. Penelitian ke depan dapat mengeksplorasi bagaimana interaksi dengan AI mendorong mahasiswa menemukan ide-ide baru, membangun kreativitas riset, dan menghasilkan inovasi akademik yang berkelanjutan.

Akhirnya, peluang riset masa depan dalam integrasi AI dan Inquiry-Based Learning menegaskan pentingnya arah baru pendidikan yang menggabungkan teknologi, pedagogi, dan konteks sosial. Dengan literatur mutakhir (Erlina et al., 2018; Walsh et al., 2023; Divjak et al., 2025), riset mendatang dapat diarahkan untuk memperkuat literasi sains, keterampilan abad ke-21, dan kapasitas adaptasi global mahasiswa. Implikasi ini menegaskan bahwa AI bukan hanya alat, melainkan katalis utama dalam pengembangan model pendidikan berbasis inkuiri di masa depan.

BAB VII. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

7.1 Kesimpulan Utama Buku

Buku ini menegaskan bahwa integrasi Inquiry-Based Learning dengan Artificial Intelligence melalui pendekatan Research Project-Based merupakan paradigma baru pendidikan yang mampu menjawab tantangan abad ke-21. Seluruh pembahasan memperlihatkan bahwa AI tidak hanya berfungsi sebagai instrumen teknologi, tetapi sebagai mitra pedagogis yang memperkaya pengalaman inkuiri, memperkuat penalaran ilmiah, meningkatkan keterampilan problem-solving, serta memperluas literasi digital dan literasi sains. Integrasi ini memfasilitasi pembelajaran adaptif, reflektif, kolaboratif, sekaligus kontekstual dengan kebutuhan nasional maupun global. Dengan landasan teoritis, filosofis, psikologis, dan pedagogis yang kuat, model ini diposisikan sebagai inovasi strategis untuk membangun generasi kritis, kreatif, adaptif, serta etis dalam menghadapi kompleksitas dunia digital dan sosial kontemporer.

7.2 Rekomendasi untuk Praktik Pembelajaran

Rekomendasi utama bagi praktik pembelajaran adalah pentingnya guru, dosen, dan institusi pendidikan untuk mengadopsi model Inquiry + AI secara sistematis dalam kurikulum. Pendidik perlu bertransformasi dari penyampai informasi menjadi fasilitator riset yang memandu siswa atau mahasiswa dalam mengeksplorasi, menganalisis, dan

merefleksikan data dengan dukungan AI. Selain itu, infrastruktur digital, literasi etis, serta pelatihan pendidik harus diperkuat agar integrasi ini dapat berjalan optimal. Praktik pembelajaran perlu diarahkan pada proyek berbasis riset yang relevan dengan konteks lokal, sekaligus membuka peluang kolaborasi global, sehingga peserta didik dapat mengembangkan critical thinking, scientific reasoning, problem-solving, dan keterampilan kolaboratif yang relevan dengan tuntutan era digital.

7.3 Rekomendasi untuk Penelitian Lanjutan

Penelitian lanjutan perlu diarahkan pada kajian empiris mengenai efektivitas model AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning dalam berbagai konteks pendidikan, baik dasar, menengah, maupun tinggi. Studi komparatif antarnegara, lintas budaya, dan multidisipliner dapat memberikan wawasan tentang adaptabilitas model ini secara global. Selain itu, penelitian perlu mengeksplorasi integrasi neurosains, etika AI, keberlanjutan pendidikan, serta literasi digital untuk memperkuat relevansi akademik dan sosial dari model ini. Dengan dukungan teknologi AI yang terus berkembang, penelitian lanjutan dapat difokuskan pada desain kurikulum adaptif, asesmen berbasis data, serta pengembangan ekosistem pembelajaran kolaboratif internasional.

7.4 Penutup

Sebagai penutup, buku ini menghadirkan perspektif baru mengenai integrasi Inquiry-Based Learning dan Artificial Intelligence dalam membangun ekosistem pendidikan yang

lebih ilmiah, adaptif, dan humanis. Setiap bab dirancang untuk memberikan kerangka teoritis, model konseptual, sintaks implementasi, studi kasus, hingga implikasi praktis yang dapat dijadikan referensi akademik maupun panduan aplikatif. Harapannya, karya ini tidak hanya memperkaya khazanah ilmu pendidikan, tetapi juga memberikan kontribusi nyata dalam membangun kebijakan, praktik, dan penelitian yang relevan dengan tantangan era digital. Dengan semangat inovasi, kolaborasi, dan keberlanjutan, buku ini diharapkan menjadi inspirasi untuk memperkuat kualitas pendidikan nasional dan global.

DAFTAR PUSTAKA

- Abate, T., Tarekegn, G., Alemu, M., Michael, K., & Angell, C. (2024). A theoretical model for measuring upper primary school learners' scientific reasoning abilities in science. *African Journal of Research in Mathematics, Science and Technology Education*, 28(2), 236-249. <https://doi.org/10.1080/18117295.2024.2386505>
- Alexander, R., Ma, L., Dou, Z.-L., Cai, Z., & Huang, Y. (2023). Integrity, confidentiality, and equity: Using inquiry-based labs to help students understand AI and cybersecurity. *Journal of Cybersecurity Education Research and Practice*, 2024(1). <https://doi.org/10.32727/8.2023.34>
- Arefin, A. S. M. S., Chowdhury, S. A., & Nishat, M. T. A. (2025). Bridging the gap: Integrating STEM into educational practices in Bangladesh. *SN Social Sciences*, 5(3), 30. <https://doi.org/10.1007/s43545-025-01060-6>
- Asriyadin, Yulianci, S., Kaniawati, I., & Liliawati, W. (2021). The formation of students' scientific attitudes through the neuroscience-based inquiry model in physics learning. *AIP Conference Proceedings*, 050028. <https://doi.org/10.1063/5.0042864>
- Bezci, F., & Sungur, S. (2021). How is middle school students' scientific reasoning ability associated with gender and learning environment? *Science Education International*, 32(2), 96-106. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i2.2>

- Cabello, V. M., Moreira, P. M., & Morales, P. G. (2021). Elementary students' reasoning in drawn explanations based on a scientific theory. *Education Sciences*, 11(10), 581. <https://doi.org/10.3390/educsci11100581>
- Chang, J., Park, J., & Park, J. (2023). Using an artificial intelligence chatbot in scientific inquiry: Focusing on a guided-inquiry activity using Inquirybot. *Asia-Pacific Science Education*, 9(1), 10062. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10062>
- Chen, Y.-L., & Tippet, C. D. (2022). Project-based inquiry in STEM teaching for preschool children. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 18(4), em2093. <https://doi.org/10.29333/ejmste/11899>
- Chu, S. K. W., Reynolds, R. B., Tavares, N. J., Notari, M., & Lee, C. W. Y. (2017). 21st century skills development through inquiry-based learning. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-2481-8>
- Conde-Izquierdo, S., Ruano, Á. M., & Nicolás, D. P. (2025). The impact of active methodologies in the classroom on academic achievement: A systematic literature review using the PRISMA protocol. *International Journal of Educational Research*, 132, 102644. <https://doi.org/10.1016/j.ijer.2025.102644>
- Divjak, B., Svetec, B., & Aničić, K. (2025). PBL meets AI: Innovating assessment in higher education. In *Proceedings of the 17th International Conference on*

- Computer Supported Education (pp. 120-130).
<https://doi.org/10.5220/0013331700003932>
- El Fathi, T., Saad, A., Larhzil, H., Lamri, D., & Al Ibrahmi, E. M. (2025). Integrating generative AI into STEM education: Enhancing conceptual understanding, addressing misconceptions, and assessing student acceptance. *Disciplinary and Interdisciplinary Science Education Research*, 7(1), 6. <https://doi.org/10.1186/s43031-025-00125-z>
- Erlina, N., Susantini, E., Wasis, Wicaksono, I., & Pandiangan, P. (2018). The effectiveness of evidence-based reasoning in inquiry-based physics teaching to increase students' scientific reasoning. *Journal of Baltic Science Education*, 17(6), 972-983. <https://doi.org/10.33225/jbse/18.17.972>
- Fitriadi, F., Herpratiwi, H., Yulianti, D., Setiyadi, A. G. B., Hariri, H., Sunyono, S., Haenilah, E. Y., & Mukhlis, H. (2024). Enhancing critical thinking in elementary education: A systematic review of effective learning models. *Multidisciplinary Reviews*, 8(6), 2025157. <https://doi.org/10.31893/multirev.2025157>
- Georgiou, N., Delfabbro, P., & Balzan, R. (2021). Conspiracy theory beliefs, scientific reasoning and the analytical thinking paradox. *Applied Cognitive Psychology*, 35(6), 1523-1534. <https://doi.org/10.1002/acp.3885>
- Isenhour, F. M. (2025). Enhancing scientific reasoning in STEM online education: A mixed-methods study on the impact

- of independent research projects at a community college. *College Teaching*, 73(1), 1-10. <https://doi.org/10.1080/87567555.2025.2478240>
- Jones, S. R., Torres, V., & Arminio, J. (2021). Designing a qualitative study. In *Negotiating the complexities of qualitative research in higher education* (3rd ed., pp. 47-68). Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003090694-3>
- Luckin, R. (2025). Nurturing human intelligence in the age of AI: Rethinking education for the future. *Development and Learning in Organizations*, 39(1), 1-4. <https://doi.org/10.1108/DLO-04-2024-0108>
- Orosz, G., Németh, V., Kovács, L., Somogyi, Z., & Korom, E. (2022). Guided inquiry-based learning in secondary-school chemistry classes: A case study. *Chemistry Education Research and Practice*, 23(1), 133-148. <https://doi.org/10.1039/d2rp00110a>
- Ossa Cornejo, C., Palma Luengo, M., Diaz Mujica, A., & Páez Rovira, D. (2022). Promoting pedagogy students' scientific skills through critical thinking program. *Electronic Journal of Research in Education Psychology*, 20(57), 267-290. <https://doi.org/10.25115/ejrep.v20i57.5272>
- Özdeniz, Y., Aktamış, H., & Bildiren, A. (2023). The effect of differentiated science module application on the scientific reasoning and scientific process skills of gifted students in a blended learning environment. *International Journal of*

- Science Education, 45(2), 217-238.
<https://doi.org/10.1080/09500693.2023.2175627>
- Parmin, P., Khusniati, M., El Islami, R. A. Z., Deta, U. A., & Saregar, A. (2022). Online scientific argumentation strategy on improving pre-service science teachers' scientific reasoning through experiment activity: A case study in Indonesia. *Perspectives of Science and Education*, 55(1), 607-619. <https://doi.org/10.32744/pse.2022.1.39>
- Pasigon, C. P. (2024). Mathematical proficiency, scientific reasoning, metacognitive skills, and performance of learners in physics: A mathematical model. *International Journal of Learning, Teaching and Educational Research*, 23(4), 252-278.
<https://ijlter.org/index.php/ijlter/article/view/9962>
- Rissanen, A., Hoang, J. G., & Spila, M. (2023). First-year interdisciplinary science experience enhances science belongingness and scientific literacy skills. *Journal of Applied Research in Higher Education*, 15(5), 1561-1586.
<https://doi.org/10.1108/JARHE-09-2020-0313>
- Sánchez-García, R., & Reyes-de-Cózar, S. (2025). Enhancing project-based learning: A framework for optimizing structural design and implementation—A systematic review with a sustainable focus. *Sustainability*, 17(11), 4978. <https://doi.org/10.3390/su17114978>
- Su, J., Yim, I. H. Y., Wegerif, R., & Chu, S. K. W. (2025). STEAM in early childhood education: A scoping review. *Research in*

- Science & Technological Education, 43(2), 495-511.
<https://doi.org/10.1080/02635143.2023.2296445>
- Utami, F., Adiansha, A. A., & Yusuf, M. (2023). Analisis kemampuan pemecahan masalah matematika melalui pemanfaatan aplikasi GeoGebra di SMPN 1 Monta. DIKSI: Jurnal Kajian Pendidikan dan Sosial, 34(2), 125-138.
<https://doi.org/10.21831/diksi.v34i2.62571>
- Walsh, B., Dalton, B., Forsyth, S., & Yeh, T. (2023). Literacy and STEM teachers adapt AI ethics curriculum. In Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence, 37(13), 16048-16055. <https://doi.org/10.1609/aaai.v37i13.26906>
- Yanto, B. E., Subali, B., & Suyanto, S. (2019). Improving students' scientific reasoning skills through the three levels of inquiry. International Journal of Instruction, 12(4), 689-704. <https://doi.org/10.29333/iji.2019.12444a>



AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning:

Teori, Model, dan Implikasi

Judul AI-Enhanced Inquiry-Based Research Project Learning: Teori, Model, dan Implikasi menggambarkan sebuah karya akademik yang berfokus pada pengembangan dan penerapan pembelajaran berbasis proyek penelitian dengan pendekatan inkuiri yang diperkuat oleh kecerdasan buatan (AI). Buku ini mengeksplorasi kerangka teoretis yang mendasari integrasi AI dalam proses inkuiri, mulai dari perumusan pertanyaan penelitian, eksplorasi data, analisis kritis, hingga penyusunan kesimpulan. Selain teori, buku ini juga menyajikan model konseptual dan praktis yang dapat dijadikan pedoman bagi pendidik, peneliti, maupun mahasiswa dalam mengimplementasikan pembelajaran berbasis proyek yang inovatif. Implikasi yang ditawarkan mencakup peningkatan keterampilan berpikir kritis, pemecahan masalah, serta literasi digital peserta didik, sekaligus memperkuat relevansi pendidikan tinggi dengan kebutuhan era teknologi cerdas. Dengan demikian, buku ini hadir sebagai kontribusi penting dalam menjembatani neurosains pendidikan, pedagogi inkuiri, dan kecerdasan buatan menuju praktik pembelajaran masa depan.

ISBN:
XXXXXXXXXXXX

Penerbit
Yayasan Pendidikan Bima Berilmu

Redaksi
Jalan Lintas Sumbawa Bima, Desa Lelu, RT. 008, RW. 004,
Kecamatan Bolo, Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat,
Kode pos: 84001
Email: bimaberilmu@gmail.com