

Supiana, Mulyana

# Chat AI



## MEMBONGKAR POTENSI AI, KARAKTER ILMIAH, DAN TANTANGAN PENDIDIKAN DI ERA MODERN

# **Membongkar Potensi AI, Karakter Ilmiah, dan Tantangan Pendidikan di Era Modern**

**Supiana**

**Mulyana**

**GUNUNG DJATI PUBLISHING**  
**2025**

#### Pasal 44

- (1) Barangsiapa dengan sengaja dan tanpa hak mengumumkan atau memperbanyak suatu ciptaan atau memberi izin untuk itu, dipidana dengan pidana penjara paling lama 7 (tujuh) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 100.000.000,00 (seratus juta rupiah).
- (2) Barangsiapa dengan sengaja menyiarkan, memamerkan, mengedarkan atau menjual kepada umum suatu ciptaan atau barang hasil pelanggaran hak cipta sebagaimana dimaksud dalam ayat (1), dipidana dengan pidana paling lama 5 (lima) tahun dan atau denda paling banyak Rp. 50.000.000,00 (lima puluh juta rupiah).

# **Membongkar Potensi AI, Karakter Ilmiah, dan Tantangan Pendidikan di Era Modern**

**Penulis**

: Supiana

: Mulyana

**Editor**

: M. Taufiq Rahman

: M. Asfahani Sauky

**Desain Sampul & Tata Letak**

: Paelani Setia

: Muhammad Haikal As-Shidqi

**ISBN:** 9786347117120



Diterbitkan 2025

Oleh

**Gunung Djati Publishing**

Kampus Universitas Islam Negeri Sunan Gunung Djati

Jl. A.H. Nasution No. 105 Cibiru Bandung

Email: adminpuslitpen@uinsgd.ac.id

Cetakan Pertama, 2025

Hak Cipta dilindungi Undang-Undang

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

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah ‘Azza wa Jalla yang senantiasa melimpahkan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan buku ini dengan judul Membongkar Potensi AI, Karakter Ilmiah, dan Tantangan Pendidikan di Era Modern. Buku ini lahir dari keprihatinan sekaligus optimisme menghadapi era disrupsi teknologi, di mana Artificial Intelligence (AI) telah menjadi salah satu kekuatan besar yang memengaruhi hampir seluruh aspek kehidupan manusia, termasuk dunia pendidikan.

Perkembangan AI membawa dua wajah yang saling berdampingan. Di satu sisi, ia menghadirkan peluang besar untuk memperkaya proses pembelajaran, memperluas akses ilmu pengetahuan, serta meningkatkan efisiensi dan kreativitas dalam berbagai bidang. Namun di sisi lain, AI juga menghadirkan tantangan serius terkait etika, karakter ilmiah, serta kesiapan manusia dalam mengelola dan mengarahkannya demi kemaslahatan.

Melalui buku ini, penulis berusaha membongkar potensi besar AI sekaligus mengajak pembaca untuk menimba nilai-nilai karakter ilmiah yang harus senantiasa dijaga. Pendidikan di era modern tidak cukup hanya berorientasi pada penguasaan teknologi, melainkan juga harus menanamkan sikap kritis, integritas akademik, dan tanggung jawab moral. Dengan demikian, generasi mendatang tidak hanya menjadi pengguna teknologi, tetapi juga mampu mengendalikan dan mengarahkan teknologi sesuai nilai-nilai kemanusiaan.

Penulis berharap, buku ini dapat memberikan inspirasi dan wawasan baru, khususnya bagi para pendidik, akademisi, dan generasi muda, dalam memahami keterkaitan erat antara teknologi, ilmu pengetahuan, dan pendidikan karakter. Semoga kehadiran buku ini menjadi kontribusi kecil dalam upaya memperkuat pendidikan bangsa di tengah derasnya arus perubahan global.

Akhirnya, penulis menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah memberikan dorongan, kritik, dan motivasi dalam penyusunan buku ini. Semoga karya sederhana ini dapat bermanfaat bagi dunia pendidikan dan menjadi amal jariyah di sisi Allah ‘Azza wa Jalla yang telah di jelaskan dalam buku ini.

12 Agustus 2025

Penulis

## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR .....	i
DAFTAR ISI .....	ii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A.    AI dan Kehidupan Sehari-hari.....	2
B.    Definisi dan Urgensi Karakter Ilmiah.....	4
C.    Tujuan dan Manfaat Buku .....	5
BAB II PERKEMBANGAN KARAKTER ILMIAH DAN KECERDASAN BUATAN .....	8
A.    Konsep Karakter Ilmiah dan Perannya dalam Pendidikan Abad ke-21 .....	8
B.    Perkembangan <i>AI</i> dan Implikasinya terhadap Sektor Pendidikan .....	15
BAB III IDENTIFIKASI NILAI-NILAI KARAKTER ILMIAH .....	22
A.    Prinsip-Prinsip Karakter Ilmiah Esensial.....	22
B.    Peran Nilai-Nilai Ilmiah dalam Kehidupan Sehari-hari Siswa .....	27
BAB IV INTEGRASI <i>AI</i> DALAM PROSES PEMBELAJARAN UNTUK PENANAMAN KARAKTER ILMIAH .....	32
A.    Pemanfaatan <i>AI</i> untuk Pengembangan Karakter Ilmiah .....	32
B.    Konsekuensi dan Tantangan Implementasi <i>AI</i> di Sekolah.....	37
BAB V PERAN GURU DALAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH .....	44
A.    Guru sebagai Fasilitator Utama Penanaman Karakter Ilmiah.....	44
B.    Urgensi Pelatihan Guru dalam Pemanfaatan Teknologi <i>AI</i> .....	49
BAB VI IMPLEMENTASI PROGRAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH DI SEKOLAH UNGGULAN .....	55
A.    Hasil Pelaksanaan Program di Sekolah Unggulan.....	55
B.    Efektivitas Program Berdasarkan Data Empiris .....	59
BAB VII TANTANGAN DAN KENDALA DALAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH.....	66
A.    Identifikasi Tantangan di Era AI .....	66
B.    Solusi dan Strategi Mengatasi Kendala .....	73
BAB VIII DAMPAK PENANAMAN KARAKTER ILMIAH TERHADAP PRESTASI SISWA.....	82
A.    Dampak pada Pencapaian Akademik dan Non-Akademik .....	82
B.    Analisis Data Empiris Prestasi Siswa .....	90

BAB IX DISKURSUS SEKOLAH UNGGULAN DAN SEKOLAH UMUM DALAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH.....	98
A. Perbandingan Efektivitas Program .....	98
B. Evaluasi Perbedaan Pendekatan dan Hasil .....	105
BAB X REFLEKSI SISWA TERHADAP PEMBELAJARAN BERBASIS AI DAN KARAKTER ILMIAH .....	113
A. Pengalaman Siswa dalam Pembelajaran Inovatif .....	113
B. Manfaat, Tantangan, dan Perubahan yang Dialami Siswa .....	119
C. Pentingnya Integrasi Karakter Ilmiah dalam Kurikulum.....	126
BAB XI PENUTUP .....	134
A. Urgensi Penguatan Karakter Ilmiah.....	134
B. Integrasi Kecerdasan Buatan (AI) .....	138
C. Kontribusi Teknologi AI dengan Karakter Ilmiah.....	140
DAFTAR PUSTAKA.....	144

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

Dalam perkembangan pendidikan yang kini semakin dipengaruhi oleh kehadiran kecerdasan buatan, urgensi penguatan karakter ilmiah menjadi kian nyata. AI, dengan kemampuannya mengolah informasi dalam jumlah besar, mengotomasi tugas-tugas kognitif, bahkan menghasilkan konten orisinal dengan kecepatan tinggi, justru menuntut manusia untuk menajamkan aspek kognitif maupun afektif yang tidak dapat digantikan mesin. Ketika AI sudah mampu menjawab pertanyaan secara instan, manusia ditantang untuk merumuskan pertanyaan yang lebih mendalam, mengkaji asumsi-asumsi di balik data, serta menginterpretasi hasil AI dengan sikap skeptis yang sehat dan pemahaman kontekstual. Karakter ilmiah menjadi pondasi agar peserta didik dapat beradaptasi kemampuan esensial dalam menghadapi transformasi teknologi yang sangat cepat. Siswa tidak hanya menjadi pengguna pasif teknologi AI, tetapi juga memahami prinsip di baliknya, bahkan berperan aktif dalam pengembangan dan pemanfaatan AI secara etis dan bertanggung jawab.

Lebih dari sekadar kemampuan teknis, karakter ilmiah berfungsi sebagai pelindung dari risiko “*black box*” AI, di mana hasil teknologi kerap diterima begitu saja tanpa pemahaman mendalam terkait proses, data, atau potensi bias di baliknya. Menumbuhkan rasa ingin tahu mendorong siswa untuk memahami cara kerja algoritma AI, di balik hasil yang diberikan, serta batasan -batasan tersebut. Kemampuan berpikir kritis memberdayakan mereka untuk mengevaluasi bias dalam data atau algoritma, serta mempertanyakan implikasi etis, sosial, dan politis dari penggunaannya. Persoalannya tidak berhenti pada kemampuan mengoperasikan AI, namun juga memahami, mengaudit, dan memastikan AI tetap berjalan sejalan dengan nilai-nilai kemanusiaan serta keadilan. Tanpa karakter ilmiah yang kuat, risiko ketergantungan pada teknologi akan meningkat dan pada akhirnya dapat melemahkan kemampuan berpikir mandiri, kreativitas, serta otonomi intelektual manusia.

Hubungan pendidikan dengan pembentukan karakter ilmiah yang matang dan kebutuhan akan SDM unggul di masa depan bersifat sangat fundamental. Tidak berlebihan jika dikatakan bahwa bangsa yang ingin maju serta bersaing secara global tidak cukup hanya memiliki tenaga ahli dengan kemampuan teknis. Mereka memerlukan individu dengan inisiatif tinggi, mampu menghadapi persoalan baru dengan segala ketidakpastiannya, serta memiliki semangat kolaborasi lintas disiplin. Karakter ilmiah yang kuat justru menjadi fondasi utama bagi lahirnya individu yang dapat menghadapi ambiguitas, mampu membaca peluang di balik tantangan, serta terus termotivasi untuk mencari, merancang, dan menerapkan ide baru yang orisinal. Individu yang telah menginternalisasi karakter ilmiah umumnya menjadi pembelajar sepanjang hayat, aktif mencari pengetahuan baru, dan

adaptif terhadap perubahan profesi, dinamika pasar kerja, maupun disrupti teknologi.

### A. AI dan Kehidupan Sehari-hari

Saat ini, dunia sedang memasuki babak baru yang ditandai oleh pesatnya kemajuan teknologi, khususnya di ranah *Artificial Intelligence* (AI). AI tidak lagi sekadar menjadi topik dalam fiksi ilmiah, kehadirannya kini telah menembus berbagai aspek inti kehidupan manusia. Transformasi signifikan dapat diamati pada model bisnis global, optimalisasi rantai pasok pendidik, hingga pola interaksi sosial dan personal individu. Kemampuan AI dalam memproses serta menganalisis data dalam jumlah besar secara cepat, mengidentifikasi pola tersembunyi, serta menghasilkan prediksi dengan akurasi yang semakin tinggi, telah secara nyata mengubah standar efisiensi dan inovasi yang selama ini berlaku. Dalam konteks pendidikan, perkembangan AI bukan sekadar pelengkap, melainkan telah menjadi kekuatan disruptif yang mendefinisikan ulang ekosistem pembelajaran. Mulai dari rekomendasi belajar yang dipersonalisasi, asisten pengajar berbasis AI yang mampu memberikan umpan balik secara instan, hingga platform adaptif yang menyesuaikan tempo belajar setiap siswa, potensi AI dalam meningkatkan kualitas dan akses pendidikan tampak sangat luas. Di sisi lain, di balik optimisme tersebut, terdapat isu-isu kompleks yang menuntut analisis kritis dan respons dari berbagai pemangku kepentingan.

Seiring meningkatnya antusiasme terhadap potensi AI, pendidikan global menghadapi tantangan yang menuntut perubahan mendasar. Era digital telah melahirkan kebutuhan akan seperangkat keterampilan baru, yang jauh melampaui kemampuan kognitif dasar yang selama ini menjadi kurikulum tradisional. Keterampilan abad ke-21, seperti pemecahan masalah kompleks, pemikiran komputasional, literasi data, kolaborasi lintas disiplin, serta kemampuan beradaptasi dan ketahanan terhadap perubahan, kini menjadi prasyarat utama untuk keberhasilan di dunia kerja dan kehidupan sosial. Pendekatan pengajaran satu arah, yang masih mengandalkan transfer informasi dari guru ke siswa, semakin tampak tidak relevan dengan kemudahan akses terhadap informasi melalui perangkat digital. Selain itu, era informasi ini juga membawa tantangan berupa maraknya disinformasi dan misinformasi, sehingga kemampuan berpikir kritis dan verifikasi informasi menjadi sangat penting.

Ironisnya, urgensi penguasaan keterampilan baru, fondasi utama dalam pengembangan kapasitas intelektual yakni karakter ilmiah sering kali terabaikan. Karakter ilmiah, yang mencakup rasa ingin tahu, kejujuran intelektual, ketekunan dalam mencari kebenaran, kemampuan berpikir kritis dalam menganalisis pendidik dan bukti, serta semangat kolaborasi dalam pencarian pengetahuan, kerap tidak menjadi faktor utama dalam pendidikan.

Kurikulum yang terlalu menitikberatkan pada penguasaan pengetahuan dan persiapan ujian, tanpa menyediakan ruang yang cukup untuk eksplorasi, eksperimen, dan refleksi, berisiko menghasilkan generasi yang unggul secara akademis namun kurang mandiri dan kurang inisiatif dalam proses penemuan. Padahal, karakteristik tersebut merupakan fondasi bagi pembelajaran sepanjang hayat yang mampu beradaptasi dan berinovasi di dalam ketidakpastian.

Kesenjangan dalam pendidikan karakter ilmiah semakin nyata dengan mengamati sekolah-sekolah unggulan di Indonesia, khususnya Kota Bandung. Institusi-institusi ini, yang seharusnya menjadi pelopor inovasi dan praktik pendidikan terbaik, pada kenyataannya masih banyak yang menerapkan model pengajaran tradisional. Fokus utama mereka cenderung pada pencapaian akademik yang diukur melalui nilai ujian dan prestasi kompetisi, sementara pengembangan karakter siswa sering kali terabaikan. Meskipun siswa di sekolah-sekolah tersebut umumnya memiliki potensi intelektual yang tinggi, lingkungan pendidikan yang tersedia belum sepenuhnya mendorong mereka untuk berkembang menjadi individu yang kritis, inquisitif, dan adaptif. Karakteristik utama seorang ilmuwan sejati. Siswa-siswi tersebut mungkin sangat kompeten dalam menyelesaikan soal-soal standar, namun belum cukup terlatih dalam merumuskan pertanyaan orisinal, mempertanyakan asumsi, maupun menghadapi kegagalan sebagai bagian dari proses pembelajaran.

Era di mana kecerdasan buatan berkembang begitu pesat, para siswa dalam menghadapi tantangan besar. Mereka harus berinteraksi dengan teknologi yang dibangun di atas logika, data, serta pembelajaran adaptif, sedangkan pondasi berpikir ilmiah mereka sendiri masih jauh dari kokoh. Kondisi ini jelas menimbulkan paradoks. AI pada dasarnya merupakan manifestasi dari proses ilmiah mulai dari pengumpulan data, pengenalan pola, pengujian hipotesis menggunakan algoritma, hingga belajar dari umpan balik. Apabila siswa hanya diarahkan menjadi konsumen pasif, tanpa pemahaman mendalam terhadap prinsip dasar maupun pengembangan pola kritis terhadap AI, maka potensi teknologi ini untuk memberdayakan manusia justru terancam menyusut. Bahkan, sangat mungkin akan muncul generasi yang sangat bergantung pada teknologi, tanpa kapasitas untuk mengendalikan, mengaudit, atau berinovasi secara bertanggung jawab dengan AI. Karenanya, evaluasi ulang serta reformulasi pendekatan pendidikan karakter ilmiah menjadi sangat mendesak.

Karakter ilmiah sendiri bukanlah sekadar pelengkap dalam kurikulum pendidikan, melainkan syarat mendasar agar individu mampu berinteraksi secara cerdas, kritis, dan produktif dengan AI. Kemampuan untuk mempertanyakan asumsi, menganalisis informasi secara mendalam, merancang serta melakukan eksperimen baik fisik maupun konseptual dan menunjukkan ketahanan dalam menghadapi kegagalan serta adaptif terhadap penemuan baru, merupakan keterampilan yang tetap relevan sepanjang zaman.

Nilai-nilai ini semakin krusial di dalam kemajuan algoritma AI dan hadirnya teknologi baru. Menanamkan karakter ilmiah secara substansial, siswa dapat dibekali perangkat kognitif yang memungkinkan mereka tumbuh sebagai pelaku aktif memahami, mengarahkan, bahkan menciptakan inovasi baru di masa mendatang. Akhirnya, mereka berpotensi menjadi agen perubahan, bukan sekadar objek perubahan.

Mengingat kompleksitas dan urgensi persoalan ini, kehadiran buku ini menjadi respons akademik sekaligus praktis yang sangat diperlukan. Buku ini bertujuan untuk menjembatani kesenjangan antara kemajuan pesat AI dan kebutuhan mendesak penguatan karakter ilmiah yang mendidik. Melalui eksplorasi peran AI dalam ekosistem pendidikan, analisis karakter ilmiah, serta identifikasi tantangan nyata dalam implementasinya. Harapannya, karya ini dapat menjadi referensi penting bagi para pendidik, pembuat kebijakan, orang tua, dan seluruh pemangku kepentingan dalam merumuskan strategi pendidikan yang relevan, adaptif, serta kompetitif. Dengan demikian, generasi mendatang akan lebih siap menghadapi era modern dengan kepercayaan diri dan kompetensi yang komprehensif.

## B. Definisi dan Urgensi Karakter Ilmiah

Sebelum masuk ke pembahasan utama buku ini, hal pertama yang perlu diperjelas adalah apa yang sebenarnya dimaksud dengan “karakter ilmiah” dalam konteks pendidikan abad ke-21. Karakter ilmiah jelas bukan sekadar kemampuan menghafal fakta-fakta sains atau sekadar keterampilan mengerjakan rumus, melainkan sebuah perpaduan antara sikap, nilai etis, dan kemampuan kognitif yang memandu individu saat meneliti, berinteraksi, serta memahami fenomena di sekitarnya. Pada dasarnya, karakter ilmiah mencakup rasa keingintahuan yang terus-menerus terhadap hal baru, kejujuran intelektual dalam menyampaikan bukti dan mengakui keterbatasan pengetahuan, ketekunan dalam menghadapi permasalahan kompleks, kemampuan berpikir kritis dari beragam perspektif, serta keterbukaan pada ide-ide baru termasuk kesiapan merevisi pemahaman berdasarkan bukti empiris yang lebih kuat. Walaupun dimensi filosofis dan psikologis karakter ilmiah akan dibahas lebih lanjut pada bab selanjutnya, pada tahap ini perlu ditekankan bahwa karakter ilmiah merupakan inti kemampuan manusia untuk bertanya, mencari kebenaran, dan terus mengembangkan pengetahuan sebuah fondasi yang tetap relevan di setiap era, bahkan di dalam kemajuan teknologi yang pesat.

Peran karakter ilmiah dalam membentuk sumber daya manusia unggul kian terasa penting di dalam persaingan global yang makin dinamis. Saat akses informasi dan teknologi semakin merata, keunggulan suatu bangsa sangat ditentukan oleh kualitas berpikir kritis warganya, kapasitas inovasi berkelanjutan, dan etos kerja ilmiah yang kuat. Siswa yang dibekali karakter

ilmiah tidak hanya memperlihatkan prestasi akademik mumpuni dalam sains dan teknologi, tetapi juga mampu menonjol di ranah lain. Pola analitis, sistematis, serta rasa ingin tahu yang tinggi, memiliki nilai universal dan dapat diterapkan di berbagai konteks. Individu dengan karakter ini berpotensi menjadi agen perubahan yang proaktif, mampu mengidentifikasi akar masalah, merumuskan hal inovatif yang berkelanjutan, serta mendorong kemajuan di berbagai sektor penting, baik dalam transformasi ekonomi digital, peningkatan kualitas pendidikan, maupun pencapaian target pendidikan berkelanjutan.

Oleh sebab itu, investasi dalam penanaman karakter ilmiah sejak dini di lingkungan sekolah, khususnya pada institusi pendidikan unggulan, merupakan hal strategis yang tidak sekadar bersifat pedagogis, melainkan kebutuhan nasional. Upaya ini adalah investasi jangka panjang untuk membangun kapabilitas kolektif bangsa agar mampu beradaptasi di dalam ketidakpastian masa depan, memaksimalkan manfaat kemajuan teknologi, seperti kecerdasan buatan, dan membangun pendidikan yang maju secara material, berdaya saing global, serta berlandaskan prinsip rasionalitas, integritas intelektual, dan etika yang kuat. Mengabaikan pembentukan karakter ilmiah berisiko melahirkan generasi yang meski cakap secara digital, namun lemah dalam berpikir kritis, kurang inovatif, dan mudah terpengaruh oleh arus informasi serta dominasi teknologi tanpa kendali.

Singkatnya, pembentukan karakter ilmiah di dalam kemajuan kecerdasan buatan bukan hanya bertujuan menyiapkan siswa menghadapi kebutuhan dunia kerja masa depan, tetapi juga membentuk mereka menjadi warga negara yang bertanggung jawab dan beretika dengan kesadaran sosial tinggi. Langkah ini menjadi strategi utama untuk memastikan kemajuan teknologi, khususnya AI, dapat bersinergi dengan kebijaksanaan, integritas, dan kapasitas kreatif manusia, sehingga melahirkan generasi unggul yang tidak hanya kompeten secara teknis, tetapi juga berkarakter kuat dan siap membangun peradaban yang lebih baik, adil, dan humanis di masa mendatang.

### C. Tujuan dan Manfaat Buku

Perubahan yang terus-menerus dalam dunia pendidikan, khususnya akibat kemunculan kecerdasan buatan, mendorong hadirnya buku ini dengan sejumlah tujuan utama yang menjadi dasar di setiap bagiannya. Buku ini disusun untuk menawarkan kerangka strategis dan panduan praktis yang komprehensif bagi para pemangku kepentingan pendidikan khususnya dalam mengintegrasikan nilai-nilai dan karakter ilmiah ke dalam kurikulum serta proses pembelajaran di dalam dominasi teknologi AI. Kehadiran buku ini diharapkan dapat mengisi kekosongan literasi, mengingat mayoritas referensi terkait AI dalam pendidikan belum secara spesifik membahas peran AI sebagai katalisator pembentukan karakter ilmiah, bukan sekedar alat

administratif atau penyedia konten. Selain itu, buku ini diharapkan dapat memberikan panduan yang tidak hanya teoretis, tetapi juga implementatif, melalui langkah-langkah konkret yang dapat diadopsi oleh sekolah dan pendidik dalam merancang pengalaman belajar yang memberdayakan.

Manfaat dari buku ini diharapkan bisa bersifat multifaset dan menjangkau berbagai kelompok pembaca, baik yang terlibat langsung maupun tidak langsung dalam ekosistem pendidikan. Khusus untuk sekolah-sekolah unggulan di Kota Bandung yang menjadi objek studi kasus, buku ini diharapkan menjadi cermin reflektif sekaligus peta jalan inovatif. Buku ini diharapkan dapat memberikan wawasan baru dalam pengembangan program pendidikan yang inovatif dan relevan terhadap kebutuhan peserta didik di era digital. Sekolah dapat memperoleh perspektif baru mengenai pemanfaatan AI, tidak hanya untuk peningkatan prestasi akademik, tetapi juga dalam menumbuhkan karakter ilmiah yang sering kali terabaikan dalam sistem yang berorientasi pada angka. Buku ini menghadirkan temuan empiris yang dapat digunakan sebagai dasar evaluasi internal serta pengembangan berkelanjutan terhadap praktik pedagogis.

Selanjutnya, bagi para guru sebagai ujung tombak pelaksanaan pendidikan, buku ini diposisikan sebagai sumber daya yang bernilai tinggi. Buku ini memaparkan strategi dan pendekatan yang dapat diterapkan untuk mengintegrasikan nilai-nilai ilmiah ke dalam setiap mata pelajaran. Guru diharapkan memperoleh pemahaman yang lebih mendalam tentang peran sentral mereka sebagai fasilitator utama dalam pembentukan karakter ilmiah siswa. Selain itu, buku ini juga menekankan urgensi pelatihan pendidik terkait pemanfaatan teknologi AI, sehingga mereka dapat memberikan dukungan optimal bagi perkembangan karakter ilmiah siswa. Buku ini membekali guru dengan konsep serta metode aplikatif untuk merancang pembelajaran yang tidak hanya informatif, tetapi juga transformatif mendorong siswa berpikir kritis, memiliki rasa ingin tahu, dan mengembangkan mentalitas ilmiah dalam setiap aspek pembelajaran.

Bagi peserta didik, walaupun buku ini ditulis dari perspektif akademis, dampak akhirnya diharapkan dapat dirasakan secara langsung dalam pengalaman belajar mereka. Melalui perubahan pendekatan yang disarankan, integrasi karakter ilmiah dan teknologi AI diharapkan dapat membantu siswa menjadi individu yang literat digital serta memiliki keterampilan sains yang kuat. Siswa akan mengalami proses pembelajaran yang lebih interaktif dan personal, di mana AI dapat memberikan umpan balik secara otomatis. Dampak ini akan membentuk mereka sebagai pembelajar yang mandiri, termotivasi, serta memiliki perangkat kognitif untuk menghadapi kompleksitas informasi di era digital. Hasilnya, mereka akan lebih siap menghadapi tantangan akademik maupun non-akademik, dengan fondasi berpikir ilmiah yang kokoh, sehingga pencapaian siswa di berbagai bidang dapat terus meningkat.

Pada akhirnya, buku ini tidak hanya memberikan pengaruh di lingkungan akademisi, tetapi juga menjangkau para pembuat kebijakan pendidikan di tingkat lokal maupun nasional di Indonesia. Bagian ini secara khusus membahas pengembangan kurikulum pendidikan yang menitikberatkan pada penguatan karakter ilmiah. Rekomendasi yang diberikan diarahkan kepada para pemangku kebijakan di sektor pendidikan serta pihak sekolah, agar dapat memperbarui kurikulum sehingga lebih responsif terhadap perkembangan pesat di era kecerdasan buatan (AI) saat ini. Diharapkan, buku ini mampu memberikan wawasan yang kuat dan berbasis bukti untuk merumuskan kebijakan yang adaptif dan visioner, serta mendorong terbentuknya ekosistem pendidikan yang relevan dengan tantangan masa depan. Kontribusi buku ini juga menekankan pentingnya peningkatan literasi digital dan sains bagi siswa Indonesia, yang pada akhirnya diharapkan memberikan dampak jangka panjang bagi pengembangan sumber daya manusia unggul SDM yang siap berkontribusi secara signifikan di bidang teknologi, sains, dan inovasi di masa mendatang. Dengan demikian, buku ini tidak hanya menjadi karya ilmiah, tetapi juga merupakan seruan untuk aksi konkret dan transformasi pendidikan yang berkelanjutan.

## BAB II

### PERKEMBANGAN KARAKTER ILMIAH DAN KECERDASAN BUATAN

#### A. Konsep Karakter Ilmiah dan Perannya dalam Pendidikan Abad ke-21

Karakter ilmiah sejurnya bukan sekadar kemampuan memahami metode penelitian, tetapi juga merupakan fondasi utama baik secara epistemologis maupun etis dalam merancang pendidikan abad ke-21. Di tengah derasnya arus informasi dan pesatnya disrupti teknologi, karakter ilmiah menjadi penopang penting agar individu mampu menghadapi tantangan yang benar-benar baru dan kadang tak terduga. Karakter ilmiah ini tidak bisa dipersempit hanya pada aspek teknis; ia adalah perpaduan disposisi mental, sikap moral, dan nilai-nilai mendasar yang mengarahkan seseorang saat mencari kebenaran, membangun pengetahuan yang valid, serta memecahkan masalah secara bertanggung jawab. Dari perspektif filsafat ilmu, karakter ilmiah berakar pada pilar rasionalitas, objektivitas, dan skeptisme sistematis semuanya berperan sebagai pertahanan utama terhadap dogma maupun disinformasi. Sementara dari sudut pandang psikologi pendidikan, karakter ilmiah merupakan gabungan harmonis antara ranah kognitif (berpikir kritis), afektif (rasa ingin tahu), dan psikomotorik (ketekunan dalam praktik), sehingga membentuk individu yang tidak hanya cerdas, namun juga berintegritas intelektual tinggi. Peran karakter ilmiah dalam pendidikan saat ini pun menjadi semakin krusial, karena berfungsi sebagai kompas moral sekaligus intelektual yang membekali peserta didik agar tidak sekadar menjadi konsumen pasif informasi, melainkan juga produsen pengetahuan yang etis dan bertanggung jawab. Pemahaman yang mendalam terhadap konsep karakter ilmiah menjadi prasyarat penting dalam merumuskan strategi pendidikan yang relevan dan benar-benar mampu mempersiapkan generasi mendatang menjadi warga global yang kritis, inovatif, dan beretika.

Berdasarkan sudut pandang filsafat ilmu, fondasi utama karakter ilmiah terletak pada rasionalitas dan penalaran logis sebagai metode utama dalam memahami realitas, melampaui keyakinan buta ataupun emosi semata. Setiap pengetahuan yang sahih seharusnya dibangun di atas bukti empiris serta argumentasi yang logis dan dapat diuji, bukan sekadar dogma, otoritas, atau prasangka subyektif. Hal ini sejalan dengan Alpaydin & Demirli (2022) yang menekankan bahwa pendidikan modern harus berpijak pada prinsip sains, teknologi, dan masyarakat menjadikan sains sebagai landasan utama proses berpikir sistematis. Pendidikan berbasis karakter ilmiah mengajarkan peserta

didik untuk merumuskan hipotesis, merancang eksperimen demi mendapatkan data yang sistematis, dan menarik kesimpulan berbasis fakta, bukan opini semata. Proses ini melatih mereka berpikir terstruktur, membedakan sebab-akibat secara logis, serta membangun argumen yang koheren dan tahan uji. Rasionalitas bukan hanya keterampilan kognitif, tetapi juga menjadi benteng intelektual penting dalam menghadapi disinformasi serta pemikiran tidak berdasar membekali generasi muda untuk menavigasi kompleksitas informasi di era digital yang sering kali dipenuhi retorika dan propaganda menyesatkan.

Selanjutnya, pilar kedua karakter ilmiah adalah objektivitas yakni kemampuan untuk memandang persoalan dari berbagai sudut pandang tanpa membiarkan prasangka atau emosi pribadi memengaruhi penilaian. Objektivitas merupakan syarat utama dalam praktik ilmiah yang etis, menuntut peneliti untuk menanggalkan bias dan kepentingan pribadi saat melakukan observasi dan analisis. Dalam pendidikan, hal ini berarti melatih peserta didik menjadi pembelajar yang adil, terbuka, dan peka terhadap keragaman perspektif. Mereka didorong untuk mengakui keterbatasan pengetahuan diri, bersedia mengubah pandangan saat dihadapkan pada bukti yang lebih kuat, serta menghargai pluralitas pemikiran. Konsep ini selaras dengan pemikiran Richardson (2022) yang menegaskan pentingnya penilaian yang adil dan transparan sebagai kunci membangun kepercayaan publik. Dengan objektivitas, peserta didik belajar untuk tidak gegabah dalam menghakimi, mendengarkan argumen lain secara terbuka, dan memahami bahwa kebenaran acap kali bersifat kompleks dan multifaset. Maka, objektivitas menjadi kualitas intelektual sekaligus moral yang sangat esensial untuk membangun masyarakat yang toleran, inklusif, dan mampu berdialog sehat tanpa terjebak dalam polarisasi maupun bias yang merusak.

Karakter ilmiah pada intinya tidak sebatas pengetahuan semata, melainkan juga mencakup skeptisme sistematis. Sikap ini adalah bentuk kritis di mana seseorang tidak mudah menerima informasi tanpa proses verifikasi dan evaluasi yang cermat. Skeptisme ilmiah di sini bukanlah penolakan tanpa dasar, melainkan metode disiplin agar klaim diuji validitasnya melalui bukti. Mengingat era penyebaran disinformasi yang begitu cepat, kemampuan ini menjadi sangat penting. Pendidikan abad ke-21 sepatutnya mendorong peserta didik untuk bertanya, “apa buktinya?”, “dari mana asal data ini?”, atau “adakah penjelasan alternatif yang lebih rasional?”. Dalam hal ini, Niemi et al. (2023) menyoroti peran teknologi, termasuk AI, sebagai alat pengembangan pemikiran kritis, misalnya melalui aplikasi verifikasi fakta. Sikap skeptis seperti ini mendorong peserta didik melakukan riset lebih dalam, membandingkan sumber yang kredibel, serta mencari validasi dari otoritas yang diakui. Implikasinya, individu tidak mudah terpengaruh klaim sensasional, mampu membedakan fakta dari fiksi, dan menunda penilaian sebelum bukti yang memadai tersedia. Skeptisme

sistematis menjadi benteng utama terhadap manipulasi dan disinformasi, sekaligus membekali generasi muda dengan kemampuan berpikir dan mengambil keputusan secara mandiri yang merupakan prasyarat penting bagi warga negara yang kritis.

Di samping itu, karakter ilmiah erat kaitannya dengan rasa ingin tahu yang tinggi dan kemampuan berpikir kreatif. Rasa ingin tahu adalah pendorong utama setiap penemuan ilmiah; ia menstimulasi seseorang untuk terus bertanya “mengapa?”, “bagaimana?”, atau “apa berikutnya?”. Pendidikan abad ke-21 seharusnya membangkitkan rasa ingin tahu ini, bukan mematikannya dengan metode hafalan yang kaku. Akgün & Alpaydın (2024) menegaskan bahwa agenda global mensyaratkan reformasi pendidikan yang mendukung kreativitas dan inovasi. Mereka menekankan pentingnya ruang eksplorasi mandiri dan kolaborasi dalam proyek-proyek inovatif. Kemampuan berpikir kreatif yakni melihat masalah dari sudut pandang tidak konvensional dan merumuskan solusi orisinal merupakan bagian dari karakter ilmiah. Dengan karakter ini, individu terdorong untuk keluar dari zona nyaman berpikir, berani mengambil risiko intelektual, bereksperimen dengan ide-ide baru, dan tidak takut gagal. Pada akhirnya, rasa ingin tahu dan kreativitas menjadi pilar yang memungkinkan peserta didik tidak hanya memahami dunia sebagaimana adanya, tetapi juga membayangkan dunia sebagaimana seharusnya, serta memiliki keberanian untuk melakukan perubahan melalui inovasi transformatif.

Merujuk perspektif psikologi pendidikan, karakter ilmiah juga mencakup disposisi intelektual seperti ketelitian, ketekunan, dan kejujuran intelektual, yang merupakan fondasi etika praktik ilmiah. Ketelitian berarti perhatian tinggi terhadap detail memastikan data dikumpulkan dan dianalisis secara akurat serta kesimpulan diambil berdasarkan bukti yang kuat. Ketekunan adalah kemampuan untuk terus bekerja keras menghadapi permasalahan kompleks, tidak mudah menyerah meski mengalami kegagalan berulang; kualitas ini sangat esensial dalam dunia penelitian. Okada (2025) menekankan pentingnya pembiasaan berpikir sistematis yang sabar dan gigih. Kejujuran intelektual adalah sikap moral untuk mengakui data yang tidak mendukung hipotesis dan tidak memanipulasi informasi demi kepentingan pribadi atau publikasi. Selain itu, Richardson (2022) juga menyoroti pentingnya etika dalam penilaian dan praktik ilmiah. Disposisi-disposisi tersebut menjadi dasar etika praktik ilmiah. Maka, pendidikan yang melatih ketelitian, ketekunan, serta kejujuran intelektual akan membentuk individu yang tidak hanya cerdas, tetapi juga memiliki integritas tinggi suatu kualitas yang penting, tidak hanya di dunia akademik, melainkan juga di berbagai profesi.

Karakter ilmiah jelas memainkan peran sentral dalam pendidikan kontemporer, terutama dalam membekali peserta didik untuk menghadapi

masalah-masalah kompleks yang sifatnya multidisipliner. Tantangan global seperti perubahan iklim, kemiskinan, dan pandemi jelas tidak dapat dipecahkan hanya lewat satu bidang studi. Individu dengan karakter ilmiah dibiasakan untuk melihat persoalan dari berbagai sudut pandang, menggabungkan pengetahuan lintas bidang, serta merancang solusi yang menyeluruh. Seperti yang dikemukakan oleh Bower & von Mengersen (2025), pendidikan teknologi kreatif dapat mendorong siswa menjadi perancang digital yang mampu menyelesaikan masalah lintas disiplin. Pendekatan seperti ini mendorong terjadinya kolaborasi antarpeserta didik dari berbagai latar keahlian, memungkinkan mereka saling belajar, dan bekerja sama untuk mengejar tujuan bersama. Kemampuan kolaboratif dan multidisipliner ini menjadi syarat utama inovasi dan pembangunan berkelanjutan, di mana solusi yang dihasilkan tidak lagi terfragmentasi, melainkan terintegrasi secara utuh. Karenanya, karakter ilmiah tidak sekadar membentuk individu yang kritis secara intelektual, namun juga efektif dalam mengatasi tantangan nyata.

Selain itu, karakter ilmiah berperan dalam peningkatan literasi ilmiah dan kapasitas argumentatif yang kuat dua aspek yang kini diakui sebagai bentuk literasi baru. Di era percepatan sains dan teknologi, literasi ilmiah menjadi kompetensi dasar agar individu dapat memahami informasi ilmiah, membuat keputusan kesehatan yang tepat, dan terlibat dalam diskusi publik dengan dasar yang kuat. Karakter ilmiah membekali peserta didik dengan kemampuan menilai klaim ilmiah secara kritis, membedakan sains yang sah dan yang tidak. Peserta didik pun belajar membangun argumen logis dan persuasif berbasis bukti, bukan sekadar retorika atau emosi. Seperti dibahas oleh Prøitz et al. (2023) kebijakan pendidikan mesti diterjemahkan ke dalam praktik yang mengasah keterampilan ini. Hal ini sangat penting dalam masyarakat demokratis, di mana warga negara yang melek sains dapat berpartisipasi dalam diskusi publik secara lebih rasional dan kritis, sehingga tidak mudah terpengaruh propaganda.

Karakter ilmiah juga sangat esensial dalam mendorong inovasi serta pemanfaatan teknologi, termasuk kecerdasan buatan (AI), secara etis dan bertanggung jawab. Sikap ingin tahu, kreativitas, dan kegigihan yang melekat pada karakter ilmiah merupakan penggerak utama inovasi teknologi. Dalam hal ini, Urmeneta & Romero (2024) dalam karyanya menyoroti bagaimana AI dapat mempercepat aplikasi kreatif di bidang pendidikan. Namun, seiring dengan hadirnya inovasi teknologi, muncul pula tanggung jawab etis yang signifikan. Karakter ilmiah menanamkan kesadaran bahwa teknologi termasuk AI harus diarahkan pada kemajuan kemanusiaan dan tidak dimanfaatkan untuk kepentingan yang merugikan, seperti manipulasi atau diskriminasi. Sedangkan Niemi et al. (2023) juga menegaskan urgensi etika dalam pengembangan AI. Peserta didik berkarakter ilmiah akan mampu mempertimbangkan implikasi sosial, moral, dan etis dari setiap teknologi

baru, serta berperan aktif memastikan teknologi tetap menjadi alat bagi manusia, bukan sebaliknya. Peran ini sangat penting dalam menyiapkan generasi muda agar menjadi inovator yang bukan hanya cerdas secara teknis, tetapi juga bijak secara moral dan etis.

Salah satu aspek penting dari karakter ilmiah yang layak mendapat perhatian khusus adalah kemampuan evaluasi diri dan metakognisi atau, dengan kata lain, kemampuan untuk memikirkan cara berpikir sendiri. Ini jelas bukan sekadar soal kecerdasan, melainkan lebih pada kapasitas untuk menilai secara kritis proses berpikir pribadi, mengenali bias kognitif yang mungkin muncul, dan kemudian menyesuaikan strategi berpikir jika diperlukan. Seperti yang diungkapkan Conti & Lenehan (2024), pembelajaran sepanjang hayat menjadi sangat penting di masyarakat pascadigital yang penuh tantangan. Karakter ilmiah mendorong individu untuk menjadi pembelajar reflektif seumur hidup terus mengevaluasi efektivitas metode belajar yang digunakan serta aktif mencari peluang untuk meningkatkan kualitas berpikir. Kemampuan metakognitif ini menjadi prasyarat utama untuk adaptasi dan pertumbuhan intelektual yang berkelanjutan. Dalam konteks pendidikan abad ke-21 yang menuntut fleksibilitas, kemampuan untuk secara sadar mengelola dan meningkatkan proses berpikir jelas menjadi keunggulan kompetitif, memungkinkan individu untuk terus belajar, berinovasi, serta menghindari stagnasi intelektual di tengah perubahan yang semakin cepat.

Karakter ilmiah telah memainkan peran vital dalam membangun budaya kolaborasi serta pertukaran ide yang sehat dan produktif. Ilmu pengetahuan pada dasarnya tidak berdiri sendiri; selalu ada unsur kerja sama dan dialog antarilmuwan yang saling menguji serta menyempurnakan pemikiran. Individu yang berkarakter ilmiah belajar menghargai kontribusi orang lain, terbuka terhadap kritik yang membangun, dan mampu bekerja dalam tim demi mencapai tujuan bersama. Mereka memahami bahwa keberhasilan kolektif sering kali lebih bermakna daripada pencapaian individu. Sebagaimana Bower & von Mengersen (2025) juga menekankan pentingnya peran siswa sebagai perancang digital yang mampu berkolaborasi dalam tim. Di era modern, kemampuan kerja tim dan keterhubungan global menjadi sangat esensial. Pendidikan yang mananamkan karakter ilmiah akan membentuk individu yang tidak hanya kompeten secara pribadi, namun juga mampu berkontribusi sebagai anggota tim yang produktif memimpin dengan inspirasi, bekerja dengan integritas, serta menciptakan lingkungan kerja dan sosial yang inovatif dan suportif, yang sangat diperlukan untuk mengatasi tantangan global kompleks.

Karakter ilmiah juga erat kaitannya dengan kesadaran etis dan tanggung jawab sosial yang mendalam dalam pemanfaatan ilmu pengetahuan dan teknologi. Ilmu pengetahuan dan teknologi memiliki kekuatan transformatif yang luar biasa, dan di balik itu timbul tanggung jawab yang besar. Individu

dengan karakter ilmiah akan mempertimbangkan secara sadar dampak sosial, etis, maupun lingkungan dari setiap penelitian atau inovasi yang dilakukan. Mereka diajarkan untuk selalu bertanya: “Untuk siapa” dan “mengapa” riset dilakukan, serta memastikan bahwa hasil karya digunakan untuk kebaikan bersama bukan untuk merugikan atau mengeksplorasi. Niemi et al. (2023) menyoroti pentingnya etika dalam AI serta tanggung jawab sosial. Kesadaran etis ini menjadi kompas moral dalam berinovasi. Oleh sebab itu, pendidikan yang menekankan karakter ilmiah akan melahirkan individu yang tidak hanya cerdas secara intelektual, tetapi juga memiliki nurani yang kuat mampu memikul tanggung jawab moral atas pengetahuan dan kekuatan yang dimiliki. Pendidikan semacam ini menghasilkan warga negara yang kompeten sekaligus bertanggung jawab dan peduli terhadap sesama serta lingkungan, memastikan ilmu pengetahuan tetap menjadi kekuatan untuk kebaikan bersama.

Karakter ilmiah jelas memainkan peran sangat sentral dalam membentuk ketahanan mental dan intelektual yang benar-benar dibutuhkan untuk menghadapi kegagalan maupun ketidakpastian. Dalam lingkungan ilmiah, kegagalan, jalan buntu, dan hipotesis yang tidak terbukti telah menjadi bagian dari keseharian. Karakter ilmiah membiasakan individu untuk memandang kegagalan bukan sebagai akhir dari segalanya, melainkan sebagai proses alami dalam pembelajaran serta peluang untuk bertumbuh. Individu dengan karakter ilmiah cenderung terdorong untuk menganalisis kesalahan, mengambil pelajaran dari pengalaman, dan kemudian mencoba pendekatan baru. Seperti yang ditegaskan oleh Akgün & Alpaydin (2024), pendidikan memang harus mempersiapkan siswa untuk menghadapi tantangan. Ketahanan semacam ini menjadi kualitas sangat penting di era modern yang bergerak cepat dan penuh tuntutan, khususnya ketika kegagalan seringkali dicap sebagai aib. Dengan menanamkan karakter ilmiah, pendidikan membekali peserta didik dengan pola pikir berkembang (growth mindset), yang menempatkan setiap tantangan sebagai kesempatan untuk bertumbuh dan setiap kegagalan sebagai pelajaran berharga. Pada akhirnya, individu yang terbentuk tidak mudah menyerah, berani bangkit, dan terus berinovasi meski di tengah kesulitan sebuah karakter yang sangat diperlukan untuk menjadi pemimpin tangguh dan sukses.

Lebih luas lagi, karakter ilmiah ini menjadi kunci dalam menumbuhkan budaya inovasi dan pemikiran transformatif di tengah masyarakat. Ketika karakter ilmiah sudah menjadi bagian integral dari sistem pendidikan, pengaruhnya perlahan akan meresap ke dalam budaya masyarakat, mendorong penghargaan terhadap pengetahuan, penelitian, dan inovasi. Kondisi tersebut membentuk masyarakat yang lebih maju, sejahtera, dan siap menghadapi tantangan masa depan. Sebagaimana dalam hal tersebut Alpaydin & Demirli (2022) juga menekankan bahwa teori pendidikan yang relevan idealnya

mampu memberikan dampak sosial signifikan. Karakter ilmiah mendorong masyarakat untuk berinvestasi di bidang sains dan teknologi, menciptakan lingkungan yang kondusif untuk penelitian dan pengembangan. Implikasinya, masyarakat tidak hanya menjadi konsumen pengetahuan, tapi juga produsen pengetahuan yang aktif berkontribusi pada kemajuan peradaban. Alhasil, peran karakter ilmiah melampaui individu, membentuk budaya kolektif yang progresif dan inovatif syarat mutlak agar bangsa mampu bersaing secara global.

Konsep karakter ilmiah juga sangat relevan dalam pengembangan kurikulum pendidikan yang lebih dinamis, fleksibel, dan adaptif terhadap masa depan yang serba tidak pasti. Di era AI dan teknologi, kurikulum tidak lagi bisa stagnan; ia perlu selalu diperbarui agar peserta didik siap menghadapi pekerjaan dan tantangan yang bahkan belum ada hari ini. Karakter ilmiah mendorong para pendidik untuk merancang kurikulum yang fleksibel, tidak hanya mengajarkan apa yang harus dipelajari, tetapi juga bagaimana cara belajar secara efektif. Dalam hal ini, Prøitz et al. (2023) turut menyoroti pentingnya menjembatani kesenjangan antara kebijakan pendidikan dan praktik di lapangan. Kurikulum berbasis karakter ilmiah akan berfokus pada pengembangan keterampilan seperti berpikir kritis, pemecahan masalah, dan adaptasi kemampuan yang tetap relevan meski teknologi berubah. Karenanya, generasi muda dipersiapkan menjadi pembelajar seumur hidup yang mampu memperbarui keterampilannya secara berkelanjutan, menjadi aset berharga dalam dinamika pasar kerja, serta memastikan mereka tetap relevan di setiap era.

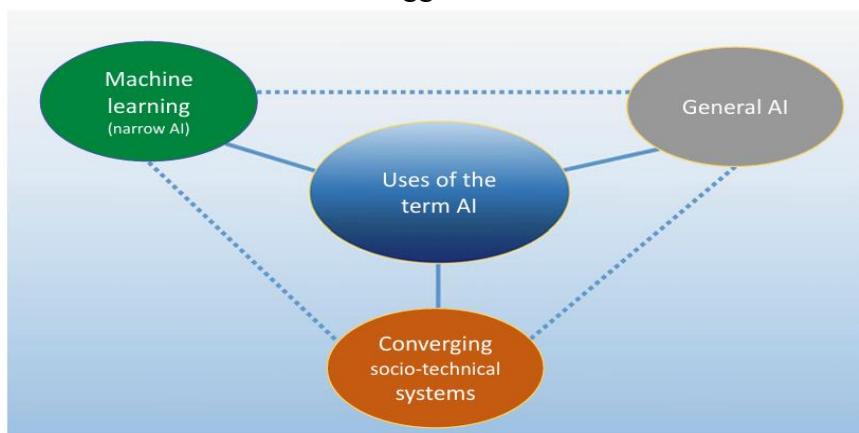
Karakter ilmiah, sejurnya, bukan hanya soal kemampuan teknis atau kecerdasan kognitif semata. Lebih dari itu, ia merupakan perpaduan disposisi moral dan intelektual yang sangat krusial dalam konteks pendidikan abad ke-21. Karakter ini membentuk peserta didik agar bisa menjadi warga negara yang kritis, inovatif, serta bertanggung jawab. Dari perspektif filsafat, karakter ilmiah menekankan pentingnya rasionalitas, objektivitas, dan sikap skeptis yang sistematis. Sementara itu, secara psikologis, karakter ini mencakup rasa ingin tahu, kreativitas, ketekunan, hingga kejujuran intelektual. Peran karakter ilmiah sangat signifikan baik dalam menghadapi persoalan kompleks dan multidisipliner, meningkatkan literasi ilmiah dan kemampuan berargumentasi, mendorong inovasi serta penggunaan teknologi yang etis, mengembangkan kemampuan metakognitif, maupun membangun budaya kolaborasi dan kesadaran etis yang dalam. Menanamkan karakter ilmiah secara menyeluruh, pendidikan modern mampu membekali generasi penerus dengan perangkat intelektual dan moral yang dibutuhkan. Bukan sekadar untuk bertahan, melainkan juga untuk berkembang serta berkontribusi secara bermakna dalam membangun masa depan yang lebih baik. Hal ini memastikan bahwa ilmu

pengetahuan dan teknologi senantiasa diarahkan demi kemajuan peradaban yang sejati.

## B. Perkembangan *AI* dan Implikasinya terhadap Sektor Pendidikan

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan (*AI*) dewasa ini telah menjadi kekuatan transformatif yang signifikan di era modern, membawa perubahan nyata pada hampir seluruh aspek kehidupan, terutama di ranah pendidikan. Jika dulu *AI* dianggap sekadar kumpulan algoritma sederhana, kini *AI* telah berkembang menjadi sistem yang mampu belajar dari data, mengenali pola yang kompleks, menganalisis informasi dalam jumlah besar, bahkan menghasilkan konten kreatif secara mandiri. Transformasi yang begitu cepat ini telah mengubah wajah pendidikan secara mendasar, menggeser fokus dari paradigma transfer informasi satu arah menuju era personalisasi pembelajaran yang dinamis dan otomasi yang efisien. Implikasi *AI* terhadap pendidikan global tidak lagi bersifat futuristik, melainkan benar-benar telah menjadi kenyataan, sehingga diperlukan reorientasi mendalam terkait filosofi, kurikulum, dan metode pengajaran. Di balik potensi revolusionernya, perkembangan *AI* juga membawa tantangan etis dan pedagogis yang tidak bisa diabaikan, mulai dari isu plagiarisme, bias algoritma, hingga risiko ketergantungan kognitif. Oleh sebab itu, kehadiran *AI* secara masif dalam berbagai aspek pendidikan semakin menegaskan urgensi pembangunan karakter ilmiah pada pelajar sebagai benteng intelektual dan moral yang sangat penting untuk menyiapkan mereka menghadapi disrupsi serta perkembangan era digital yang semakin pesat.

Gambar 1. Penggunaan Istilah “*AI*”



Sumber: Stahl (2021)

Salah satu implikasi paling revolusioner dari perkembangan AI adalah kemampuannya menciptakan personalisasi serta adaptasi proses pembelajaran yang belum pernah terjadi sebelumnya. Dalam hal ini, Niemi et al. (2023) menggarisbawahi bahwa AI dapat menghadirkan pengalaman belajar yang disesuaikan dengan kebutuhan, gaya, dan kecepatan masing-masing siswa. Sebagai contoh, sistem AI yang terintegrasi ke dalam platform pembelajaran mampu menganalisis kinerja siswa secara real-time, mengidentifikasi secara spesifik titik-titik kesenjangan pengetahuan, serta secara proaktif memberikan rekomendasi materi, latihan, atau sumber daya pembelajaran yang paling relevan. Maka, siswa yang mengalami kesulitan pada konsep tertentu dapat memperoleh dukungan tambahan yang terpersonalisasi, sementara siswa dengan kecepatan belajar tinggi dapat diberikan tantangan yang lebih kompleks tanpa harus menunggu rekan-rekannya. Transformasi personalisasi ini mengubah model pendidikan “satu-ukuran-untuk-semua” menjadi pendekatan yang lebih individualistik dan responsif, sehingga pendidikan menjadi jauh lebih efisien dan efektif dalam mengembangkan potensi maksimal setiap individu. Akan tetapi, perubahan ini juga menimbulkan perdebatan terkait standar kurikulum yang seragam dan potensi risiko ketergantungan pada algoritma yang dapat membatasi eksplorasi siswa di luar jalur yang sudah ditentukan. Dilema ini dapat diatasi dengan membangun karakter ilmiah yang kuat dan mandiri pada setiap individu.

Selain itu, AI juga memberikan dampak signifikan terhadap otomasi tugas-tugas administratif dan penilaian, sehingga membebaskan waktu guru untuk berfokus pada interaksi personal yang lebih bermakna dengan siswa. Saat ini, sistem AI telah mampu mengoreksi esai dan memberikan umpan balik secara instan, melakukan penilaian otomatis pada pekerjaan rumah, serta mengelola jadwal dan kehadiran siswa dengan efisien. Sebagaimana hal ini diungkapkan oleh Prøitz et al. (2023), bahwa teknologi dapat mengubah praktik pendidikan sehari-hari serta menjembatani kesenjangan antara kebijakan makro dan implementasi mikro. Dengan mengotomatisasi tugas-tugas rutin, guru memiliki lebih banyak waktu dan energi untuk menjalankan peran-peran yang tidak dapat digantikan oleh AI, seperti menjadi mentor, fasilitator diskusi kritis, dan pembimbing karakter. Akan tetapi, efisiensi ini juga menimbulkan kekhawatiran mengenai berkurangnya sentuhan manusiawi dalam proses penilaian dan interaksi guru-siswa. Menjaga keseimbangan antara efisiensi yang ditawarkan AI dan kebutuhan akan interaksi manusiawi yang empatik merupakan tantangan tersendiri. Oleh karena itu, penguatan karakter ilmiah sangat penting bagi para pendidik agar mampu secara kritis mengevaluasi penggunaan AI dan memastikan bahwa teknologi berfungsi untuk memperkuat, bukan menggantikan, peran esensial manusia dalam pendidikan.

Salah satu dampak signifikan dari hadirnya AI adalah kemampuannya menyediakan akses yang sangat luas terhadap beragam informasi dan sumber belajar, sehingga secara fundamental mengubah peran perpustakaan serta buku teks konvensional. Secara tegas Urmeneta & Romero (2024) menegaskan bahwa AI mampu memfasilitasi akses kreatif ke pengetahuan, membuka akses ke sumber daya yang sebelumnya sulit dijangkau. Saat ini, siswa dapat mengakses data dari berbagai penjuru dunia dalam hitungan detik, mengeksplorasi simulasi virtual yang kompleks, atau berinteraksi dengan tutor AI yang tersedia setiap saat. Dalam konteks ini, karakter ilmiah menjadi semakin penting dan tak terelakkan. Di tengah arus informasi yang sangat deras, kemampuan membedakan informasi kredibel dari disinformasi menjadi keterampilan esensial. Karakter ilmiah yang meliputi sikap skeptis yang terstruktur dan pemikiran kritis memberikan bekal kognitif bagi siswa untuk menilai sumber, memverifikasi fakta, serta tidak mudah terpengaruh oleh konten palsu yang dapat diproduksi AI. Tanpa karakter ilmiah, akses informasi yang tak terbatas justru berpotensi menjadi bumerang, menimbulkan kebingungan, bias, hingga penyebaran misinformasi yang berisiko merusak tatanan masyarakat.

Perkembangan AI, khususnya model bahasa generatif seperti yang saat ini dikenal, juga menghadirkan tantangan etis yang kompleks, terutama terkait integritas akademik, misalnya isu plagiarisme dan orisinalitas karya siswa. Alat generatif AI memungkinkan siswa menghasilkan esai, kode, ataupun karya seni dalam waktu singkat, menimbulkan perdebatan mengenai apa yang dapat dianggap sebagai karya orisinil seorang siswa. Lalu, Richardson (2022) juga menyoroti pentingnya membangun kembali kepercayaan publik terhadap sistem penilaian pendidikan, sebuah tantangan yang semakin besar di era AI. Dalam konteks ini, karakter ilmiah yang mananamkan nilai kejujuran intelektual, integritas, dan tanggung jawab menjadi sangat penting. Sekolah tidak dapat lagi hanya mengandalkan perangkat deteksi plagiarisme; perlu penanaman nilai-nilai yang mendorong siswa memahami bahwa proses belajar, berpikir, dan mencipta secara mandiri jauh lebih berharga dibandingkan hasil instan dari mesin. Karenanya, pembentukan karakter ilmiah yang kuat menjadi solusi jangka panjang paling efektif untuk menghadapi tantangan plagiarisme, karena mampu membangun motivasi intrinsik siswa untuk belajar dan berkarya secara jujur sebuah kualitas yang tidak dapat diajarkan oleh algoritma.

AI juga berpotensi menimbulkan risiko bias dan diskriminasi dalam pendidikan jika algoritma yang digunakan tidak dirancang secara etis dan diawasi dengan cermat. Sistem AI sering kali dilatih menggunakan data historis yang telah memuat bias sosial dan ketidaksetaraan yang sudah ada sebelumnya. Akibatnya, algoritma AI dapat menghasilkan rekomendasi diskriminatif, misalnya dalam proses seleksi siswa, identifikasi bakat, atau

pemberian saran jalur karier. Sebagaimana ditekankan oleh Akgün & Alpaydin (2024) pendidikan perlu responsif terhadap isu global seperti kesetaraan dan keadilan sosial. Karakter ilmiah sangat penting agar generasi mendatang memiliki kesadaran kritis terhadap teknologi. Siswa yang memiliki karakter ilmiah mampu mengidentifikasi dan mengkritisi bias tersembunyi dalam teknologi, memahami cara kerja algoritma, serta menuntut transparansi dari sistem yang digunakan. Akhirnya, karakter ilmiah tidak hanya penting untuk memanfaatkan AI, tetapi juga untuk membentuk konsumen dan pengembang teknologi yang bertanggung jawab yang secara aktif mendorong pengurangan ketidaksetaraan serta mempromosikan keadilan sosial melalui inovasi yang etis dan inklusif.

Perkembangan AI yang begitu pesat belakangan ini betul-betul menggeser peran guru dari sekadar penyampai materi menjadi fasilitator, mentor, hingga coach. Di tengah era di mana fakta-fakta bisa diakses dalam hitungan detik lewat AI, tugas guru jelas tidak lagi sebatas mengajar materi atau meminta siswa menghafal. Guru kini dituntut untuk melatih cara berpikir, kemampuan memecahkan masalah, serta kolaborasi yang efektif. Dalam hal ini, Conti & Lenehan (2024) menegaskan pentingnya pembelajaran sepanjang hayat di masyarakat pascadigital. Hasilnya, fokus peran guru pun beralih pada pengembangan keterampilan abad ke-21 yang tidak dapat digantikan AI, seperti kreativitas, etika, dan pemikiran kritis. Dalam konteks ini, karakter ilmiah menjadi sangat penting agar guru mampu beradaptasi dengan perubahan teknologi, merancang metode pembelajaran inovatif, dan menjadi teladan dalam berpikir kritis serta etis. Tanpa karakter ilmiah, guru berisiko tertinggal oleh laju perkembangan teknologi. Namun sebaliknya, dengan karakter ilmiah, guru dapat memanfaatkan AI sebagai alat yang memperkaya peran mereka sebagai pendidik dan pembimbing transformatif, sesuatu yang sangat dibutuhkan generasi mendatang.

Di sisi lain, kehadiran AI membuka peluang besar dalam pengembangan keterampilan berpikir komputasional dan sistematis pada siswa. Dalam hal ini, Bower & von Mengersen (2025) menyoroti bagaimana pendidikan teknologi kreatif dapat memberdayakan siswa menjadi perancang digital yang inovatif. AI memberikan kesempatan bagi siswa untuk memahami cara kerja algoritma, proses data, serta pemanfaatan logika komputasi dalam memecahkan masalah. Pemikiran komputasional menjadi keterampilan dasar yang esensial di era digital, melatih siswa untuk memecah masalah besar ke bagian yang lebih kecil, mengenali pola, serta merancang solusi algoritmik yang efektif. Karakter ilmiah, dengan fokus pada penalaran logis, pemikiran terstruktur, dan ketekunan, menjadi fondasi yang sangat penting bagi pengembangan keterampilan tersebut. Melalui integrasi AI dan karakter ilmiah, pendidikan dapat menghasilkan generasi yang tidak hanya mahir menggunakan teknologi, tetapi juga memahami logika di baliknya dan mampu menciptakan inovasi

digital yang bermakna dan beretika, sehingga mendorong kemajuan teknologi yang bertanggung jawab.

Menariknya, AI juga dapat dimanfaatkan sebagai alat untuk meningkatkan efektivitas pengembangan karakter ilmiah itu sendiri. Walaupun AI tidak dapat menggantikan peran manusia dalam menanamkan nilai-nilai, ia dapat berfungsi sebagai alat bantu yang sangat kuat. Misalnya, AI dapat menyajikan studi kasus etis yang kompleks, memfasilitasi debat seimbang tentang topik kontroversial dengan menyediakan data dari beragam perspektif, serta menyediakan simulasi yang memungkinkan siswa mengeksplorasi konsekuensi etis dari keputusan ilmiah. Menariknya, dalam pandangan Okada (2025) juga membahas bagaimana alat AI dapat digunakan untuk mendukung pemetaan pengetahuan, yang pada akhirnya melatih pemikiran sistematis dan terstruktur. Dalam konteks ini, AI berpotensi menjadi katalisator yang mempercepat pengembangan pemikiran kritis, metakognisi, dan kejajaran intelektual. Akan tetapi, penggunaan AI tetap membutuhkan pengawasan ketat dari pendidik dengan karakter ilmiah yang kuat, agar AI digunakan secara pedagogis dan tidak mereduksi pembelajaran menjadi proses mekanistik atau dogmatis. Singkatnya, AI bisa menjadi mitra yang berharga dalam penguatan karakter ilmiah, asalkan digunakan secara bijaksana dan terarah.

Ancaman kemajuan AI terhadap kreativitas dan orisinalitas manusia kini semakin terasa nyata. Ketika teknologi mampu menghasilkan karya yang kompleks hanya dalam hitungan detik, risiko siswa menjadi terlalu bergantung dan kehilangan dorongan berpikir mandiri pun makin meningkat. Oleh sebab itu, pendidikan di era digital dituntut untuk membangun karakter ilmiah: rasa ingin tahu, kreativitas, dan ketekunan. Nilai-nilai inilah yang mendorong individu untuk menciptakan sesuatu yang benar-benar baru, bukan sekadar meniru. Bower & von Mengersen (2025) bahkan menegaskan pentingnya pendidikan teknologi yang berfokus pada siswa sebagai perancang aktif, bukan pengguna pasif. Dengan demikian, tujuan pendidikan melampaui sekadar hasil instan, melainkan menekankan proses berpikir yang mendalam dan bermakna. Pembangunan karakter ilmiah menjadi kunci agar generasi mendatang tidak hanya menjadi konsumen AI, tetapi juga inovator yang mampu melampaui mesin dan memberikan nilai tambah otentik.

Implikasi lain dari kemajuan AI adalah tantangan terhadap sistem penilaian pendidikan. Tradisi penilaian berbasis tes dan esai tertulis kini mudah terdampak oleh akses terhadap alat AI, sehingga relevansi dan keadilan metode lama mulai dipertanyakan. Sebagaimana hal ini Richardson (2022) menyoroti pentingnya pembaruan penilaian yang lebih holistik dan autentik, tidak hanya mengukur pengetahuan faktual, tetapi juga keterampilan abad ke-21 seperti kolaborasi, pemecahan masalah, dan kreativitas. Karakter ilmiah dengan fondasi metakognisi dan kejajaran intelektual menjadi sangat penting

dalam proses ini, karena menekankan proses berpikir, bukan hanya hasil akhir. Penilaian mampu membedakan antara kecerdasan manusia otentik dan hasil otomatisasi mesin, serta menjaga integritas pendidikan. Karenanya, perkembangan AI semakin menyoroti kebutuhan akan etika digital dan tanggung jawab sosial dalam kurikulum pendidikan. Terlebih Alpaydin & Demirli (2022) menekankan pentingnya integrasi prinsip sains, teknologi, dan masyarakat dalam pendidikan abad ke-21. Siswa perlu memahami dampak luas AI, mulai dari isu privasi, bias algoritma, hingga implikasi sosial dan demokrasi. Karakter ilmiah yang mananamkan kesadaran etis dan pemikiran kritis menjadi landasan utama dalam membentuk sikap digital yang bertanggung jawab. Pendidikan harus membekali siswa agar tidak hanya memahami teknologi, tetapi juga mampu mengelola dan mengarahkannya secara etis demi kebaikan bersama.

Dalam cakupan yang lebih luas, AI juga menegaskan kembali pentingnya pembelajaran seumur hidup dan adaptabilitas sebagai keterampilan utama masa depan. Ketika pekerjaan rutin makin terotomatisasi, kemampuan beradaptasi, belajar dengan cepat, dan terus berinovasi menjadi sangat vital. Conti & Lenehan (2024) pun menyoroti peran strategis pembelajaran seumur hidup dalam masyarakat pascadigital. Karakter ilmiah dengan penekanan pada rasa ingin tahu, ketekunan, dan metakognisi menjadi prasyarat pembelajar seumur hidup yang efektif. Paradigma pendidikan harus bergeser dari sekadar menyiapkan siswa untuk satu profesi, menjadi persiapan menghadapi dunia kerja yang terus berubah. Maka, pembangunan karakter ilmiah menjadi investasi jangka panjang yang membekali generasi mendatang agar tangguh, adaptif, dan relevan di era ketidakpastian.

Perkembangan AI benar-benar telah mempercepat kolaborasi global dalam bidang riset dan pengembangan. Kini, batas geografis nyaris tak berarti lagi peneliti dari berbagai negara dapat berinteraksi, bertukar data, dan berdiskusi secara real-time. Seperti dijelaskan oleh Niemi et al. (2023), kolaborasi lintas negara menjadi kunci dalam menghadapi tantangan yang semakin kompleks. Kemajuan alat-alat AI memfasilitasi kerja sama lintas disiplin dan budaya, memungkinkan terciptanya sinergi baru dalam dunia riset. Namun, kolaborasi internasional semacam ini jelas menuntut karakter ilmiah yang kuat. Objektivitas, kejujuran intelektual, dan etika profesional menjadi semakin esensial di tengah keragaman perspektif dan latar belakang. Peserta didik perlu dibekali kemampuan bekerja dalam tim multikultural, menghargai perbedaan sudut pandang, serta berkontribusi secara konstruktif. Penguatan karakter ilmiah tidak hanya menjadi fondasi utama bagi generasi masa depan untuk menjadi warga global yang cerdas, tetapi juga agar mampu berpartisipasi secara efektif dalam memecahkan persoalan dunia dan menumbuhkan kolaborasi pengetahuan dari berbagai penjuru.

Pada dasarnya, kemajuan AI bukan sekadar persoalan teknologi, tetapi juga menuntut pendidikan untuk mereorientasi diri menuju penguatan karakter ilmiah. AI telah mengotomatisasi berbagai tugas rutin, mempersonalisasi pembelajaran, dan memperluas akses terhadap informasi. Meski demikian, kemudahan tersebut turut membawa tantangan etika, pedagogis, dan sosial, seperti bias, plagiarisme, serta risiko ketergantungan. Dalam konteks ini, pendidikan tidak cukup hanya menekankan transfer pengetahuan faktual. Sudah saatnya pendidikan menitikberatkan pembangunan karakter ilmiah, yang meliputi rasionalitas, objektivitas, skeptisme, rasa ingin tahu, kreativitas, dan kejujuran intelektual. Karakter ilmiah inilah yang akan membekali peserta didik dengan kemampuan berpikir kritis, memecahkan masalah kompleks, berkolaborasi, serta menggunakan AI secara etis dan bertanggung jawab. Dengan demikian, penanaman karakter ilmiah merupakan langkah strategis agar generasi mendatang tidak sekadar mampu bertahan di era AI, melainkan juga menjadi arsitek dan inovator yang bijak dalam membangun peradaban manusia yang beretika.

## **BAB III**

### **IDENTIFIKASI NILAI-NILAI KARAKTER ILMIAH**

#### **A. Prinsip-Prinsip Karakter Ilmiah Esensial**

Menghadapi era modern yang penuh gejolak akibat disrupsi teknologi dan derasnya arus informasi, kebutuhan akan penguatan karakter ilmiah pada peserta didik bukan lagi sekadar opsi, tetapi sudah menjadi kebutuhan mendesak dalam dunia pendidikan. Karakter ilmiah jelas tidak dapat tumbuh hanya dari hafalan fakta-fakta sains. Ia merupakan fondasi kokoh yang mesti dibangun secara sistematis dan terintegrasi di dalam kurikulum sekolah. Prinsip-prinsip esensial seperti keingintahuan, kejujuran ilmiah, ketekunan, kerja sama, dan kemampuan berpikir kritis berperan sebagai kompas moral dan intelektual, membimbing individu untuk menavigasi lautan informasi yang seringkali menyesatkan, serta menyelesaikan masalah dengan integritas, rasionalitas, dan efektivitas. Tanpa fondasi karakter seperti ini, peserta didik sangat rentan terbawa arus disinformasi, bias kognitif, atau dogma yang tidak berdasar. Karenanya, identifikasi dan integrasi prinsip-prinsip dasar tersebut harus menjadi prioritas utama di setiap institusi pendidikan. Pendekatan yang memperhatikan prinsip-prinsip ini secara mendalam, baik dari perspektif filsafat ilmu maupun psikologi pendidikan, akan memberikan kerangka yang kuat dalam merancang strategi pembelajaran yang relevan dan efektif di tengah era disrupsi saat ini.

Prinsip paling fundamental yang menjadi penggerak utama praktik ilmiah adalah keingintahuan atau curiosity. Keingintahuan merupakan dorongan alami manusia untuk bertanya, mengeksplorasi, dan memahami dunia di sekelilingnya. Dalam perspektif filsafat sains, hasrat untuk memahami secara mendalam (*scientific understanding*) adalah inti dari ilmu pengetahuan, bukan sekadar mengumpulkan data, melainkan membangun pemahaman atas mekanisme segala sesuatu (Höhl, 2024). Pendidikan perlu memelihara dan merangsang rasa ingin tahu ini, bukannya mematikan dengan pendekatan pembelajaran yang kaku dan hanya berorientasi pada hafalan. Pendidik harus menciptakan lingkungan belajar yang aman dan inspiratif, memungkinkan peserta didik bertanya tanpa rasa takut dihakimi, mendorong mereka untuk mencari jawaban melalui eksplorasi mandiri, serta menyediakan ruang untuk eksperimen. Tanpa keingintahuan, motivasi intrinsik untuk belajar dan berinovasi akan meredup. Maka, menanamkan keingintahuan sama artinya dengan menanam benih intelektual yang akan tumbuh sepanjang hayat, membentuk individu yang tidak pernah berhenti belajar dan terus mencari pengetahuan baru sebuah kualitas yang sangat vital di tengah perubahan yang cepat dan konstan.

Prinsip kedua yang esensial dan sering menjadi pilar etika dalam sains adalah kejujuran ilmiah atau *scientific honesty*. Kejujuran ilmiah merupakan pilar etika utama dalam dunia pengetahuan, yang menuntut individu untuk melaporkan data, temuan, dan kesimpulan secara jujur dan objektif, tanpa manipulasi atau penyesuaian demi kepentingan pribadi. Prinsip ini juga menuntut keterbukaan dalam mengakui keterbatasan penelitian, mencantumkan sumber secara benar, dan tidak mengklaim ide orang lain sebagai milik sendiri. Dalam hal ini, Ferber (2015) menekankan bahwa kejujuran merupakan prasyarat fundamental bagi diskursus rasional dan pencarian kebenaran. Dalam konteks pendidikan, kejujuran ilmiah perlu diterapkan melalui praktik evaluasi yang transparan dan etis, tugas-tugas yang mendorong orisinalitas, serta diskusi yang menjunjung tinggi integritas intelektual. Hal ini melatih peserta didik menjadi individu yang berintegritas, memahami bahwa kebenaran memiliki nilai lebih tinggi daripada sekadar pengakuan atau pujiannya sesaat. Dengan menanamkan kejujuran ilmiah, pendidikan membangun fondasi etis yang kuat, mempersiapkan peserta didik menjadi profesional yang dapat dipercaya dan bertanggung jawab, serta memperkuat kepercayaan publik terhadap ilmu pengetahuan dan lembaga pendidikan.

Ketekunan atau istilah kerennya *perseverance*, jelas jadi prinsip utama ketika kita berhadapan dengan tantangan ilmiah atau proses belajar yang rumit. Dalam dunia riset dan proses pembelajaran, kegagalan berulang, hipotesis yang meleset, dan jalan buntu itu bukan hal asing semua pasti pernah mengalami. Karakter ilmiah menuntut individu punya ketahanan mental: tetap maju, menganalisis kesalahan, belajar dari pengalaman, serta mencoba pendekatan baru, bukan berhenti di tengah jalan. Seperti yang ditekankan Steffen (2025), ketekunan sangat vital dalam memecahkan masalah kompleks, terutama saat membahas relasi antara kecerdasan buatan dan realitas. Dalam konteks ini, kegagalan adalah bagian alami dari proses inovasi. Karenanya, pendidikan sebaiknya menanamkan ketekunan melalui proyek-proyek menantang, membiarkan siswa mengalami proses trial and error, bukan sekadar memberikan jawaban instan. Peran pendidik di sini lebih pada menjadi motivator: membimbing siswa melihat kegagalan sebagai bagian dari proses belajar yang bernilai, bukan sebagai akhir. Dengan menanamkan ketekunan, pendidikan juga membangun pola pikir berkembang (*growth mindset*), setiap tantangan menjadi peluang untuk tumbuh, dan kesulitan menjadi batu loncatan menuju keberhasilan, sesuatu yang sangat esensial untuk inovasi dan adaptasi.

Prinsip berikutnya yang tidak kalah penting di era modern ialah kerja sama, atau *collaboration*. Pengetahuan ilmiah tidak pernah tumbuh sebagai usaha soliter, sejak awal ia bertumpu pada pertukaran gagasan, kritik, dan kerja tim yang solid. Karakter ilmiah mengajarkan penghargaan atas

kontribusi orang lain, kesiapan menerima kritik membangun, serta kemampuan bekerja sama untuk mencapai tujuan bersama. Dalam hal ini, Veprek (2024) menyoroti pentingnya kolaborasi antara manusia dan sistem AI. Sinergi antara kecerdasan manusia dan mesin menjadi kunci keberhasilan. Dalam pendidikan, kerja sama dapat dibangun melalui proyek kelompok, diskusi terstruktur, maupun kegiatan lintas disiplin yang menuntut siswa berbagi pengetahuan, mendengarkan perspektif beragam, dan menyelesaikan masalah bersama. Keterampilan ini sangat dibutuhkan di dunia kerja modern yang sangat terhubung. Dengan menanamkan prinsip kerja sama, pendidikan membentuk individu yang tidak hanya cerdas secara individu, tetapi juga mampu menjadi anggota tim yang produktif, suportif, dan efektif.

Kemampuan berpikir kritis, atau critical thinking, juga sangat fundamental dalam karakter ilmiah bahkan dapat dikatakan sebagai fondasi utama untuk pengambilan keputusan secara rasional. Berpikir kritis adalah kemampuan menganalisis informasi secara objektif, mengenali potensi bias, mengevaluasi validitas argumen, dan merumuskan kesimpulan yang rasional serta terinformasi. Sebagaimana Goodman & Ferret (2021) menegaskan bahwa pemikiran rasional dan kritis menjadi dasar bagi pencerahan intelektual dan kemajuan sosial. Dalam pendidikan, berpikir kritis sebaiknya dibangun melalui diskusi terstruktur, studi kasus, dan tugas yang menuntut siswa menganalisis informasi dari berbagai sumber dan sudut pandang, bukan sekadar menerima informasi. Pendidik perlu mendorong siswa untuk mempertanyakan asumsi, mencari bukti kuat, dan menyusun argumen sendiri. Kemampuan ini penting agar siswa mampu menavigasi banjir informasi digital, membedakan fakta dan opini, serta tidak mudah terpengaruh oleh opini yang tidak berdasar. Dengan menanamkan kemampuan berpikir kritis, pendidikan menghasilkan warga negara yang cerdas dan mampu mengambil keputusan yang rasional serta terinformasi dalam kehidupan pribadi maupun publik.

Keterbukaan pikiran atau *open-mindedness* memang jadi prinsip yang sangat fundamental dalam karakter ilmiah, memungkinkan adaptasi dan perkembangan pengetahuan berjalan. Pada dasarnya, keterbukaan pikiran ini berarti kesiapan untuk mempertimbangkan gagasan, hipotesis, atau perspektif baru, meskipun hal itu berlawanan dengan keyakinan pribadi atau pengetahuan yang sudah ada. Sikap ini jelas berlawanan dengan dogmatisme dan pemikiran tertutup, sehingga membuka ruang bagi individu untuk terus belajar dan beradaptasi. Seperti dinyatakan oleh Höhl (2024), pemahaman ilmiah sejati tidak mungkin tercapai tanpa keterbukaan terhadap kemungkinan-kemungkinan baru maupun revisi atas teori yang telah ada. Dalam dunia pendidikan, keterbukaan pikiran dapat dikembangkan melalui diskusi yang menghargai keberagaman pandangan, serta memberi kesempatan kepada siswa untuk mengeksplorasi topik di luar zona nyaman mereka, baik

secara budaya maupun intelektual. Sikap ini melatih peserta didik menjadi pembelajar yang adaptif dan fleksibel, serta tidak ragu untuk mengubah pandangan ketika dihadapkan pada bukti yang lebih kuat. Maka, keterbukaan pikiran menjadi salah satu kunci utama dalam inovasi dan kemajuan, karena memungkinkan individu melihat peluang di balik hambatan.

Selanjutnya, prinsip skeptisisme yang sehat atau *healthy skepticism*, juga sangat penting sebagai mekanisme verifikasi dalam proses berpikir ilmiah. Sikap skeptis yang sehat bukan berarti menolak segala hal tanpa dasar, melainkan menuntut bukti yang memadai sebelum menerima suatu klaim sebagai kebenaran. Hal ini menjadi sangat krusial di era disinformasi seperti sekarang. Dalam hal ini, Steffen (2025) menegaskan bahwa skeptisisme sangat penting untuk menavigasi klaim-klaim yang dihasilkan oleh AI, yang terkadang sulit dibedakan dari realitas. Dalam konteks pendidikan, skeptisisme dapat ditanamkan dengan membiasakan siswa untuk selalu bertanya, “apa buktinya?”, “siapa yang menyatakan?”, dan “apakah sumbernya dapat dipercaya?”. Selain itu, Prøitz et al. (2023) juga menekankan pentingnya kurikulum yang mendorong pemikiran kritis dan verifikasi. Cara ini membekali siswa agar menjadi konsumen informasi yang cerdas, mampu membedakan fakta dari opini, serta tidak mudah terpengaruh oleh klaim sensasional. Dengan menanamkan skeptisisme yang sehat, pendidikan membentuk individu yang memiliki kemandirian intelektual dan tidak bergantung sepenuhnya pada otoritas eksternal dalam menentukan kebenaran.

Sementara itu, karakter ilmiah juga menuntut kemampuan evaluasi diri dan metakognisi. Evaluasi diri mencakup proses refleksi kritis terhadap pekerjaan, pemikiran, dan proses pembelajaran yang dijalani. Metakognisi merupakan kemampuan untuk berpikir tentang cara berpikir sendiri, menyadari potensi bias kognitif, dan merancang strategi kognitif yang lebih efektif. Okada (2025) menunjukkan bahwa alat-alat AI dapat membantu siswa dalam proses metakognisi, misalnya dengan memvisualisasikan alur berpikir mereka. Karenanya, pendidikan perlu menyediakan ruang bagi siswa untuk merefleksikan proses belajar, mengidentifikasi kelebihan dan kelemahan, serta merancang rencana perbaikan secara mandiri. Sikap ini melatih siswa menjadi pembelajar yang mandiri dan proaktif, serta bertanggung jawab atas proses pendidikannya sendiri. Dengan demikian, penanaman evaluasi diri dan metakognisi menghasilkan individu yang tidak hanya cerdas, tetapi juga sadar diri, dan mampu secara konsisten meningkatkan kualitas berpikir serta proses pembelajaran, yang merupakan syarat utama untuk pembelajaran sepanjang hayat.

Prinsip rasionalitas dan berpikir logis dalam membangun argumentasi memang sangat fundamental. Tanpa kemampuan ini, argumen yang disampaikan mudah sekali disalahpahami atau bahkan dianggap tidak kredibel. Seperti diuraikan oleh Ferber, logika merupakan fondasi utama dari

sebuah argumen yang valid. Jadi, pendidikan harus melatih siswa menyusun argumen berdasarkan premis yang kuat dan didukung bukti yang relevan, lalu menarik kesimpulan secara logis. Keterampilan ini penting tidak hanya dalam komunikasi lisan maupun tulisan, tetapi juga untuk mengenali dan mengkritisi kekeliruan logika pada argumen pihak lain. Mudahnya, siswa akan menjadi komunikator yang efektif, yang mampu menyampaikan gagasan secara jelas dan meyakinkan. Penanaman prinsip rasionalitas ini pada akhirnya membentuk individu yang siap berpartisipasi secara konstruktif dalam diskusi publik dan turut membangun budaya dialog yang sehat.

Prinsip tersebut juga mencakup kemampuan untuk mengakui dan memperbaiki kesalahan, yang menandakan adanya kerendahan hati intelektual. Dalam perkembangan ilmu pengetahuan, proses koreksi diri merupakan bagian yang tidak terpisahkan. Kesalahan justru menjadi momen penting dalam pencarian kebenaran. Karakter ilmiah menuntut seseorang untuk tidak takut terhadap kesalahan, melainkan memandangnya sebagai peluang untuk belajar dan berkembang. Kesalahan adalah bagian alami dari proses inovasi baik dalam teknologi maupun pengetahuan. Kemajuan seringkali berawal dari pembelajaran atas kegagalan (Steffen, 2025). Akhirnya, pendidikan perlu menyediakan lingkungan yang aman bagi siswa untuk melakukan kesalahan tanpa rasa takut dihakimi. Guru juga sebaiknya membimbing siswa untuk menganalisis kesalahan secara sistematis dan mencari solusi yang lebih baik. Implementasi prinsip ini akan membentuk individu yang tangguh secara intelektual, rendah hati dalam mengakui keterbatasan, dan terbuka untuk terus belajar dari pengalaman.

Di sisi lain, karakter ilmiah juga menuntut adanya tanggung jawab sosial dan etika. Setiap kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi selalu membawa dampak sosial yang luas. Seperti yang disampaikan oleh Alpaydin & Demirli (2022), aspek sosial, etis, dan lingkungan perlu menjadi pertimbangan utama dalam pendidikan. Karakter ilmiah harus menanamkan kesadaran bahwa pengetahuan yang dikembangkan sebaiknya digunakan untuk kebaikan bersama, tidak merugikan atau mengeksplorasi pihak lain. Singkatnya, pendidikan mempersiapkan siswa menjadi warga negara yang bertanggung jawab, peduli terhadap masyarakat dan lingkungan, serta mampu memanfaatkan pengetahuan untuk menghasilkan perubahan positif. Menanamkan tanggung jawab sosial juga berarti membentuk individu yang tidak hanya cerdas, melainkan juga memiliki nurani dan komitmen terhadap keadilan.

Pada akhirnya, seluruh prinsip karakter ilmiah tersebut merupakan kerangka holistik yang tidak hanya relevan bagi dunia ilmu pengetahuan, tetapi juga kehidupan abad ke-21 secara umum. Mulai dari rasa ingin tahu, kejujuran ilmiah, ketekunan, hingga kolaborasi, semuanya menjadi fondasi moral dan intelektual. Kemampuan berpikir kritis, keterbukaan terhadap

pengetahuan baru, serta skeptisme konstruktif juga merupakan bagian dari kedaulatan intelektual. Selain itu, evaluasi diri, argumentasi logis, pengakuan atas kesalahan, dan tanggung jawab sosial perlu diintegrasikan secara menyeluruh dalam kurikulum pendidikan. Dengan demikian, siswa akan dibekali perangkat intelektual dan moral untuk menghadapi tantangan zaman. Pendidikan yang menanamkan karakter ilmiah akan menghasilkan individu yang mampu berpikir kritis, bertindak dengan integritas, bekerja sama secara efektif, dan berkontribusi positif kepada masyarakat menjadikan mereka arsitek masa depan yang bijaksana dan bertanggung jawab.

## B. Peran Nilai-Nilai Ilmiah dalam Kehidupan Sehari-hari Siswa

Pembelajaran sains di sekolah, sejurnya, masih berkutat pada transfer pengetahuan yang sifatnya faktual dan latihan metode penelitian di laboratorium. Aspek-aspek ini memang tidak bisa dipungkiri sangat penting, tetapi sering kali esensi utama pendidikan ilmiah yakni internalisasi nilai-nilai karakter ilmuwan seperti rasa ingin tahu, kejujuran, ketekunan, dan kemampuan berpikir kritis justru terabaikan. Padahal, nilai-nilai tersebut bukan sekadar bekal untuk menjadi ilmuwan di masa depan, melainkan juga perangkat penting dalam membentuk kebiasaan mengambil keputusan bijaksana, berinteraksi secara konstruktif, serta memecahkan persoalan di luar lingkungan akademik. Dengan menanamkan nilai-nilai ini, pendidikan sains semestinya mampu membentuk individu yang bukan hanya unggul secara teori, tetapi juga arif dalam bertindak, berintegritas, dan bertanggung jawab terhadap lingkungan. Nilai-nilai ini memiliki peran sentral dalam kehidupan sehari-hari siswa dan membentuk fondasi sikap serta perilaku konstruktif, khususnya di era yang penuh kompleksitas dan tantangan.

Nilai pertama yang fundamental, yaitu rasa ingin tahu (*curiosity*), secara langsung mendorong siswa untuk aktif mencari pemahaman dalam kehidupan sehari-hari. Rasa ingin tahu inilah yang memotivasi mereka untuk bertanya mengenai fenomena di sekitar mulai dari pertanyaan sederhana seperti mengapa langit berwarna biru hingga isu sosial yang lebih kompleks, seperti mengapa ketidaksetaraan masih terjadi atau bagaimana teknologi bekerja. Siswa yang memiliki rasa ingin tahu tidak akan sekadar menerima informasi, tetapi akan proaktif mencari tahu melalui buku, internet (dengan sikap kritis), maupun bertanya kepada pihak yang kompeten. Menurut Höhl (2024), pemahaman ilmiah yang sejati berakar pada keinginan untuk memahami sebuah manifestasi nyata dari *curiosity*. Dalam praktiknya, siswa dengan kualitas ini akan menjadi pembelajar sepanjang hayat, mampu beradaptasi di tengah perubahan dan arus informasi yang terus berkembang.

Prinsip kejujuran ilmiah juga sangat penting di luar ranah akademik dan kerap menjadi ukuran integritas pribadi seseorang. Kejujuran ini tercermin

dalam perilaku sehari-hari, mengakui kesalahan tanpa rasa takut, memberikan penghargaan kepada pihak yang layak, serta menahan diri dari menyebarkan informasi yang salah. Sebagai contoh, ketika siswa melakukan kesalahan dalam tugas atau mengalami kegagalan dalam proyek di luar sekolah, kejujuran ilmiah mendorong mereka untuk mengakui kesalahan tersebut, bukan mencari-cari alasan atau menyalahkan pihak lain. Kejujuran merupakan prasyarat etis bagi diskursus rasional dan pencarian kebenaran. Dalam interaksi sosial, nilai ini membentuk individu yang dapat dipercaya dan menjunjung tinggi kebenaran (Ferber, 2015). Di era disinformasi dan maraknya berita palsu, kejujuran ilmiah menjadi benteng moral yang mencegah siswa memanipulasi fakta atau ikut menyebarkan hoaks, melainkan berperan sebagai agen kebenaran yang bertanggung jawab, sehingga berkontribusi pada masyarakat berbasis fakta.

Ketekunan jelas memegang peranan sentral dalam kehidupan siswa, menjadi fondasi utama untuk membangun ketahanan mental dan kemandirian yang diperlukan. Nilai ini tidak hanya relevan ketika siswa dihadapkan pada soal matematika yang sulit atau eksperimen yang hasilnya tidak sesuai harapan, tetapi juga sangat penting ketika mereka menghadapi tantangan hidup yang lebih luas. Misalnya, saat mengalami kegagalan dalam kompetisi olahraga, kesulitan menguasai keterampilan baru, ataupun menghadapi masalah pribadi, ketekunan ilmiah membentuk sikap pantang menyerah. Siswa diarahkan untuk menganalisis penyebab kegagalan, mengambil pelajaran dari pengalaman, dan berupaya kembali dengan strategi yang berbeda hingga tercapai keberhasilan. Dalam hal ini, Steffen (2025) menegaskan bahwa ketekunan merupakan bagian integral dari proses inovasi dan pemecahan masalah secara efektif. Dalam praktik sehari-hari, nilai ini memupuk pola pikir berkembang (*growth mindset*), sehingga setiap tantangan dilihat sebagai peluang untuk bertumbuh dan setiap kegagalan menjadi proses pembelajaran yang memperkokoh karakter. Hasilnya, ketekunan ilmiah mempersiapkan siswa menjadi individu yang tangguh, tidak mudah menyerah, dan mampu bangkit dari kesulitan sebuah kualitas esensial di tengah era yang penuh ketidakpastian dan persaingan.

Prinsip kerja sama juga memiliki peran vital dalam membentuk interaksi sosial siswa, menjadikan mereka individu yang lebih empatik dan efektif dalam kelompok. Kerja sama ilmiah menanamkan pemahaman tentang pentingnya menghargai kontribusi orang lain, mendengarkan berbagai gagasan, serta bekerja secara sinergis demi mencapai tujuan bersama. Sebagaimana dalam hal ini Veprek (2024) menyoroti bahwa kolaborasi antara kecerdasan manusia dan mesin krusial untuk memecahkan persoalan kompleks, yang menegaskan bahwa kerja sama adalah keterampilan yang tidak tergantikan. Dalam kehidupan sehari-hari, nilai ini mendorong siswa menjadi anggota tim yang baik dalam kegiatan ekstrakurikuler, teman yang

suportif, dan kontributor positif dalam kelompok sosial. Siswa menyadari bahwa keberhasilan kolektif sering kali lebih bermakna daripada keberhasilan individu, serta memahami bahwa melalui kerja sama, mereka mampu mengatasi masalah yang tidak dapat diselesaikan sendiri. Kerja sama ilmiah juga mempersiapkan siswa menjadi warga negara yang efektif, yang siap berpartisipasi dalam proyek komunitas dan berkolaborasi untuk kebaikan bersama.

Kemampuan berpikir kritis ialah instrumen intelektual yang sangat penting dan kerap digunakan siswa dalam kehidupan sehari-hari. Berpikir kritis memungkinkan siswa untuk menilai informasi yang diperoleh dari media sosial, berita, maupun lingkungan pertemanan, sehingga tidak mudah menerima klaim tanpa dasar. Sebagai ilustrasi, ketika siswa menemukan berita daring yang provokatif, karakter ilmiah mendorong mereka untuk memeriksa sumber, mencari bukti pendukung dari referensi kredibel, dan mempertimbangkan berbagai sudut pandang sebelum mempercayai atau menyebarkan informasi tersebut. Secara tegas Goodman & Ferret (2021) menegaskan bahwa pemikiran rasional merupakan fondasi pencerahan intelektual. Dalam praktik sehari-hari, kemampuan berpikir kritis membimbing siswa dalam membuat keputusan yang terinformasi dan rasional baik dalam memilih produk, mendukung ideologi tertentu, maupun berinteraksi secara objektif. Jadi, berpikir kritis berfungsi sebagai perisai intelektual yang melindungi siswa dari manipulasi dan propaganda, serta membentuk mereka menjadi individu yang mandiri dalam berpikir dan bertindak.

Nilai keterbukaan pikiran juga memiliki posisi penting dalam kehidupan siswa, terutama ketika berhadapan dengan individu yang memiliki latar belakang, keyakinan, dan sudut pandang berbeda. Keterbukaan pikiran ilmiah menumbuhkan empati dan penerimaan terhadap perspektif lain, mendorong siswa untuk mendengarkan serta memahami perbedaan tanpa prasangka. Pemahaman secara mendalam hanya dapat dicapai melalui keterbukaan terhadap berbagai kemungkinan dan perspektif (Höhl, 2024). Dalam kehidupan sehari-hari, nilai ini melatih siswa menjadi pribadi yang toleran dan inklusif, sehingga mampu berinteraksi dengan beragam kelompok tanpa prasangka. Dengan keterbukaan pikiran, siswa tidak hanya belajar menerima perbedaan, tetapi juga melihatnya sebagai peluang memperkaya pengetahuan dan pemahaman tentang dunia. Hal ini mempersiapkan mereka untuk menjadi warga global yang dapat berinteraksi secara harmonis di masyarakat yang plural dan kompleks.

Sikap skeptis yang sehat, sebenarnya, merupakan pelindung utama bagi pelajar di era digital yang penuh dengan informasi tidak terverifikasi. Tidak semua yang tersebar di media sosial dapat langsung dipercaya terlalu banyak klaim bombastis, mulai dari iklan produk dengan janji instan hingga unggahan

provokatif yang mudah viral. Prinsip skeptis ini mendorong siswa agar tidak menerima informasi begitu saja; mereka perlu memeriksa kembali, mencari bukti pendukung, dan memastikan sumber informasi memang kredibel. Dalam hal ini, Steffen (2025) menegaskan bahwa sikap skeptis sangat penting agar pelajar mampu membedakan informasi sahih dari klaim yang dihasilkan AI ataupun disinformasi. Dengan membiasakan berpikir kritis, pelajar dapat menjadi konsumen informasi yang cerdas, tidak mudah tertipu, serta terhindar dari perangkap hoaks. Pada intinya, skeptisme yang sehat menjadi kunci dalam menjaga keadilan intelektual dan perlindungan diri dari manipulasi pihak lain.

Selain itu, nilai evaluasi diri dan metakognisi memiliki peran penting dalam pembentukan karakter pelajar. Evaluasi diri mengajarkan siswa untuk merefleksikan proses belajar, keputusan, maupun perilaku secara jujur. Sementara itu, metakognisi membantu mereka menyadari pola pikir serta strategi belajar yang efektif misalnya, mengenali metode belajar yang sesuai atau mendeteksi adanya bias kognitif. Dalam pandangannya, Okada (2025) menunjukkan bahwa alat-alat AI dapat membantu siswa memvisualisasikan alur pemikiran mereka sehingga proses metakognisi menjadi lebih terstruktur dan efisien. Nilai-nilai ini mendorong siswa menjadi pembelajar mandiri, bertanggung jawab terhadap perkembangan dirinya, serta tidak mudah menyalahkan pihak lain ketika menghadapi kegagalan. Akhirnya, siswa membangun kesadaran diri yang kuat dan terus berupaya menjadi versi terbaik dari dirinya, baik di bidang akademik maupun kehidupan sehari-hari.

Prinsip rasionalitas dalam berargumen juga sangat relevan dalam kehidupan pelajar, baik dalam interaksi keluarga, pertemanan, maupun lingkungan komunitas. Rasionalitas membimbing siswa untuk menyampaikan gagasan secara logis dan terstruktur, tidak sekadar bergantung pada emosi atau prasangka. Ferber (2015) menekankan bahwa logika adalah fondasi argumen yang valid. Tanpa logika, komunikasi mudah disalahpahami dan ini berdampak negatif pada dinamika sosial. Nilai rasionalitas membantu siswa menyelesaikan konflik secara konstruktif, berdiskusi dengan alasan yang kuat, serta terbiasa untuk mendengarkan dan mempertimbangkan argumen pihak lain. Dengan menanamkan rasionalitas, pendidikan membentuk individu yang mampu berkomunikasi efektif dan berkontribusi pada budaya dialog yang sehat di rumah, sekolah, maupun masyarakat luas.

Tidak kalah penting, prinsip mengakui dan memperbaiki kesalahan merupakan indikator kerendahan hati intelektual sekaligus kekuatan moral. Dalam dunia ilmu pengetahuan, proses koreksi diri adalah sesuatu yang mutlak; kesalahan sering menjadi titik awal lahirnya inovasi. Inovasi banyak berkembang melalui proses trial and error kesalahan yang kemudian diperbaiki. Pendidikan seharusnya menyediakan ruang aman bagi siswa untuk berproses, termasuk membuat kesalahan tanpa rasa takut dihakimi (Steffen,

2025). Pendidik perlu membimbing siswa agar mampu menganalisis kesalahan secara sistematis, mengidentifikasi sumber permasalahan, dan mencari solusi yang lebih baik. Penerapan prinsip ini akan membentuk individu yang tangguh, rendah hati, dan selalu mau belajar dari kekurangan sebuah kualitas esensial bagi pertumbuhan berkelanjutan dan inovasi.

Dalam ruang lingkup yang lebih luas, tanggung jawab sosial dan etika sebagai bagian dari karakter ilmiah jelas memiliki peran signifikan dalam kehidupan sehari-hari siswa. Nilai-nilai ini mendorong siswa untuk lebih memperhatikan dampak dari setiap tindakan mereka, baik terhadap orang lain maupun lingkungan, di tingkat lokal maupun global. Seperti yang diungkapkan oleh Alpaydin & Demirli (2022) dalam karyanya, aspek sosial, etis, dan lingkungan sangat ditekankan dalam pendidikan, beserta keterkaitan erat antara sains dan masyarakat. Dalam praktiknya, nilai-nilai tersebut tampak dalam tindakan nyata, mulai dari memilih produk yang ramah lingkungan, terlibat dalam kegiatan sosial, hingga kepedulian pada isu keadilan sosial dan politik. Dengan menanamkan tanggung jawab sosial, pendidikan sains mampu melampaui batas akademik, membentuk individu yang tidak hanya unggul secara intelektual, tetapi juga peduli, empatik, dan memiliki komitmen untuk berkontribusi pada perubahan positif di masyarakat.

Kesimpulannya, nilai-nilai ilmiah dalam kehidupan sehari-hari siswa berperan penting dalam membentuk pola pikir holistik, di mana sains tidak lagi dipandang sekadar sebagai mata pelajaran terpisah, melainkan menjadi bagian dari cara hidup. Nilai-nilai seperti rasa ingin tahu mendorong eksplorasi yang berkelanjutan, kejujuran menumbuhkan integritas, ketekunan memperkuat ketahanan mental, dan kerja sama menumbuhkan empati serta sinergi. Kemampuan berpikir kritis menjadi pelindung dari disinformasi, sedangkan keterbukaan pikiran dan skeptisme yang sehat membuka ruang untuk dialog konstruktif dan pemahaman yang lebih mendalam. Selain itu, evaluasi diri, rasionalitas dalam berargumen, pengakuan atas kesalahan, serta tanggung jawab sosial menjadi fondasi bagi kemandirian, etika, dan kontribusi positif. Dengan mengintegrasikan nilai-nilai tersebut secara efektif, pendidikan bukan hanya mempersiapkan siswa untuk berkarier di bidang sains, tetapi juga membentuk warga negara yang cerdas, bertanggung jawab, dan adaptif terhadap kompleksitas dunia modern, sehingga ilmu pengetahuan benar-benar menjadi kekuatan untuk kebaikan dan kemajuan peradaban manusia secara berkelanjutan.

## BAB IV

### INTEGRASI AI DALAM PROSES PEMBELAJARAN UNTUK PENANAMAN KARAKTER ILMIAH

#### A. Pemanfaatan AI untuk Pengembangan Karakter Ilmiah

Di tengah derasnya transformasi digital, dunia pendidikan dihadapkan pada tantangan sekaligus peluang besar dalam mengintegrasikan teknologi kecerdasan buatan (AI) secara strategis untuk mencapai tujuan pedagogis yang lebih tinggi. AI kini bukan lagi sekadar alat bantu administratif, tetapi berperan sebagai katalisator utama dalam menanamkan dan mengembangkan karakter ilmiah yang esensial pada peserta didik. Integrasi AI yang terencana dalam proses pembelajaran membuka peluang terjadinya pergeseran paradigma, dari model pendidikan yang pasif dan berorientasi pada hafalan menuju model yang proaktif, interaktif, dan berpusat pada siswa. AI tidak hanya menyederhanakan proses administratif, tetapi juga membuka jalur inovatif untuk menumbuhkan rasa ingin tahu, kejuran intelektual, ketekunan, serta kemampuan berpikir kritis yang menjadi fondasi karakter ilmiah. Pemanfaatan AI secara bijaksana di ranah pendidikan merupakan langkah progresif untuk membentuk generasi yang terampil secara digital, sekaligus memiliki landasan moral dan intelektual yang kokoh dalam menghadapi kompleksitas dan tantangan di era modern yang penuh ketidakpastian.

Salah satu peran paling signifikan dan transformatif dari AI dalam pendidikan adalah kemampuannya menumbuhkan rasa ingin tahu serta eksplorasi ilmiah melalui pengalaman belajar yang interaktif dan dinamis. Platform pembelajaran berbasis AI mampu merespons pertanyaan siswa secara real-time, menyediakan informasi kontekstual yang kaya, serta mengarahkan mereka ke sumber daya yang relevan untuk eksplorasi lebih lanjut. Niemi et al. (2023) menguraikan bagaimana AI dapat membangun lingkungan belajar yang adaptif, di mana siswa dapat mengeksplorasi topik-topik yang diminati secara mendalam dan sesuai dengan kecepatan masing-masing. Sebagai contoh, siswa dapat berinteraksi dengan *chatbot* AI yang berfungsi sebagai tutor virtual yang selalu tersedia, mengajukan pertanyaan kompleks tentang fenomena alam, sejarah, atau fisika, dan memperoleh penjelasan yang sesuai dengan tingkat pemahaman mereka. Pengalaman seperti ini efektif dalam merangsang rasa ingin tahu siswa sehingga mereka tidak mudah puas dengan jawaban dangkal. Melalui simulasi dan realitas virtual berbasis AI, siswa juga dapat menjelajahi ruang angkasa, meninjau struktur sel manusia, atau merakit molekul secara virtual, sehingga pembelajaran yang semula pasif berubah menjadi petualangan ilmiah yang

merangsang imajinasi dan mendorong eksplorasi tanpa batas, sekaligus memperkuat semangat belajar sepanjang hayat.

Sementara itu, AI juga memainkan peran krusial dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa dengan menyediakan data yang masif dan beragam untuk dianalisis. Teknologi AI mampu mengumpulkan, memproses, serta menyajikan data dari berbagai sumber dalam format yang mudah dipahami, sehingga memungkinkan siswa untuk menganalisis pola, mengidentifikasi anomali, dan merumuskan hipotesis yang valid. Glückler & Panitz (2024) menekankan bahwa di era digital, pengetahuan tidak lagi sekadar akumulasi informasi, tetapi juga mencakup bagaimana data diorganisasi, diinterpretasi, dan digunakan dalam pengambilan keputusan. AI memang menjadi alat yang sangat kuat dalam memproses data, namun kemampuan berpikir kritis siswa tetap menjadi faktor utama dalam menginterpretasikan makna, menilai relevansi, dan mengenali potensi bias. Adapun Guarcello & Longo (2024) juga menegaskan pentingnya membangun hubungan kritis dengan teknologi AI itu sendiri, sehingga siswa tidak hanya menggunakan, tetapi juga memahami adanya bias algoritma dan keterbatasan teknologi. Hasilnya, peserta didik dapat dilatih untuk menganalisis laporan yang dihasilkan AI, memvalidasi klaim melalui bukti lain, serta membangun argumen yang didukung data, bukan sekadar menerima informasi secara pasif. Sikap skeptis yang sehat serta kemampuan membedakan antara informasi yang kredibel dan disinformasi menjadi keterampilan yang sangat penting di era modern ini.

AI saat ini tidak lagi sekadar alat bantu belajar biasa, melainkan sudah mengambil peran penting sebagai fasilitator penanaman ketekunan dan pola pikir berkembang (*growth mindset*) lewat mekanisme umpan balik yang personal dan adaptif. Platform pembelajaran berbasis AI mampu menganalisis kinerja siswa secara otomatis serta memberikan umpan balik instan yang sangat spesifik bukan hanya menunjukkan kesalahan, tetapi juga menyoroti area yang perlu diperbaiki secara rinci. Dalam hal ini, Niemi et al. (2023) menekankan bahwa sistem AI dapat menyesuaikan tingkat kesulitan soal atau materi berdasarkan perkembangan siswa, sehingga siswa tetap berada di zona tantangan yang optimal; tidak terlalu mudah hingga membosankan, namun juga tidak terlalu sulit sampai membuat frustrasi. Dengan pendekatan ini, siswa diajak memandang kesulitan sebagai bagian wajar dari proses belajar, bukan hambatan yang harus dihindari. Sedangkan Reimers (2020) menegaskan bahwa pendidikan harus melatih keterampilan yang relevan untuk memecahkan masalah kompleks dan adaptif. Ketekunan, yang tumbuh melalui tantangan terukur, menjadi salah satu kompetensi inti di sini. AI, sebagai pendamping belajar yang konsisten, terus mendorong siswa untuk mencoba ulang, belajar dari kesalahan, serta memperhatikan dan mengapresiasi setiap kemajuan yang diraih, sehingga siswa dapat membangun

ketahanan dan kepercayaan diri yang penting untuk menghadapi tantangan masa depan.

Dalam konteks kejujuran ilmiah, AI juga berperan dalam menjaga integritas akademik dengan menyediakan alat deteksi plagiarisme melalui perbandingan teks siswa dengan basis data yang sangat luas. Tidak hanya sebagai alat penindakan, AI juga berfungsi sebagai instrumen edukatif yang mengajarkan pentingnya originalitas dan tata cara pengutipan yang benar. Misalnya, *platform* AI dapat memberikan umpan balik terkait reformulasi gagasan dengan bahasa sendiri atau membantu menyusun daftar pustaka yang sesuai standar. Berdasarkan hal tersebut, AI menanamkan pemahaman tentang nilai kejujuran intelektual dari perspektif etika, bukan sekadar aturan yang harus dipatuhi untuk menghindari sanksi. Pemanfaatan AI di bidang ini secara efektif menegaskan bahwa kejujuran merupakan fondasi utama karya ilmiah yang sah, dan bahwa integritas intelektual jauh lebih bernilai dibanding hasil instan yang diperoleh melalui cara tidak jujur.

Selain itu, AI turut berkontribusi dalam meningkatkan kemampuan kolaborasi siswa, baik antar siswa maupun dalam interaksi manusia-AI yang sinergis. Dalam hal ini, Urmeneta & Romero (2024) menyoroti bahwa AI dapat memfasilitasi proyek kolaboratif dengan menyediakan perangkat yang memungkinkan siswa bekerja bersama secara real-time, berbagi ide, serta mengintegrasikan kontribusi mereka menjadi satu hasil yang koheren. Misalnya, siswa dapat memanfaatkan AI untuk mengorganisasi data, memvisualisasikan informasi yang kompleks, dan menyusun laporan kelompok dengan lebih efisien. AI juga dapat bertindak sebagai mitra dalam proses kreatif, di mana siswa memanfaatkan AI untuk menghasilkan ide-ide awal atau *prototipe*, kemudian menyempurnakannya dengan pemikiran kritis dan kreativitas manusia. Sebagaimana Veprek (2024) menjelaskan bahwa kolaborasi antara manusia dan sistem komputasi AI dapat menghasilkan capaian yang tidak dapat diraih secara terpisah. Kolaborasi semacam ini melatih siswa untuk menghargai kontribusi orang lain, menerima kritik yang membangun, dan bekerja secara sinergis sebuah keterampilan esensial di dunia profesional yang semakin menuntut kolaborasi lintas disiplin.

Salah satu keunggulan utama AI terletak pada kemampuannya memfasilitasi pengembangan metakognisi dan evaluasi diri kompetensi yang sangat penting untuk pembelajaran sepanjang hayat. AI memungkinkan siswa memetakan serta memvisualisasikan proses berpikir mereka secara sistematis, sebuah konsep yang dikenal sebagai knowledge cartography. Seperti dijelaskan oleh Okada (2025), alat berbasis AI dapat membantu siswa memahami hubungan antar ide, mengidentifikasi celah pada pengetahuan, serta merefleksikan proses pengambilan keputusan mereka. Melalui AI, siswa memiliki kesempatan untuk meninjau perkembangan pola pikir mereka secara berkelanjutan, mengenali bias kognitif, dan merumuskan strategi belajar yang

lebih efektif. Sebagai contoh, sebuah platform AI dapat merekam tahapan siswa dalam menyelesaikan soal, kemudian memberikan analisis terstruktur terkait pendekatan yang digunakan; hal ini memungkinkan refleksi yang lebih mendalam atas efektivitas strategi belajar yang diterapkan. Singkatnya, AI berfungsi sebagai cermin kognitif yang mendorong pengembangan kesadaran diri dan tanggung jawab atas proses pembelajaran.

Lebih dari itu, AI sangat mendukung pengembangan kreativitas dan inovasi di ranah ilmiah. Urmeneta & Romero (2024) menyoroti berbagai cara AI dapat digunakan untuk menumbuhkan pemikiran kreatif, mulai dari menghasilkan ide baru hingga mengembangkan solusi yang telah ada. AI berperan sebagai mitra dalam proses kreatif, di mana siswa menggunakan kecerdasan buatan untuk menguji alternatif solusi suatu masalah, selanjutnya mengevaluasi, memodifikasi, dan memilih solusi terbaik secara mandiri. Alhasil, posisi siswa bergeser dari sekadar konsumen menjadi inovator aktif. Melalui AI, siswa dapat memvisualisasikan konsep abstrak atau menjalankan simulasi kompleks, sehingga memungkinkan eksplorasi ide-ide ilmiah secara lebih imajinatif dan melampaui batasan fisik. Hal ini berperan penting dalam membangun kepercayaan diri dan pola pikir kreatif yang menjadi ciri khas seorang ilmuwan.

Integrasi AI juga membuka peluang pembelajaran yang lebih relevan terhadap isu-isu global, sehingga membentuk kesadaran sosial dan lingkungan. Dalam hal ini, pandangan John (2025) menekankan pentingnya pendidikan yang mengaitkan siswa dengan tantangan keberlanjutan dunia. AI dapat digunakan untuk menganalisis data lingkungan berskala besar, memprediksi perubahan iklim, ataupun mensimulasikan dampak kebijakan sosial tertentu, sehingga siswa dapat mengamati secara langsung konsekuensi tindakan manusia. Sementara itu, Alpaydın & Demirli (2022) menyatakan pentingnya pendidikan yang responsif terhadap perkembangan sains, teknologi, dan masyarakat. Dukungan AI memungkinkan siswa mengeksplorasi penerapan pengetahuan ilmiah untuk mengatasi permasalahan nyata seperti kemiskinan, perubahan iklim, maupun isu kesehatan publik. Dengan demikian, tumbuhlah kesadaran etis, tanggung jawab sosial, serta dorongan untuk memanfaatkan ilmu pengetahuan bagi kebaikan bersama.

Gambar 2. Contoh Penggunaan Aplikasi Pintar “AI” oleh Anak



Sumber: Edwards & Straker (2025)

Pemanfaatan AI dalam pembentukan karakter ilmiah juga dapat diterapkan sejak usia dini. Anak-anak usia dini dapat belajar secara efektif melalui pengalaman interaktif berbasis teknologi. AI dapat digunakan untuk mengembangkan aplikasi pendidikan yang adaptif dan personal, sehingga mampu memperkenalkan konsep sains dasar melalui permainan yang menarik (Edwards & Straker, 2025). Sebagai contoh, aplikasi AI dapat mendeteksi minat anak terhadap hewan dan menyajikan permainan edukatif tentang biologi atau ekologi secara menyenangkan. Pengalaman ini menumbuhkan rasa ingin tahu dan kecintaan terhadap pembelajaran sejak dini, yang menjadi fondasi krusial dalam pengembangan karakter ilmiah di masa depan. Singkatnya, AI memiliki potensi besar sebagai sarana efektif dalam mengintegrasikan pendidikan sains ke dalam pembelajaran anak-anak, sehingga pembentukan karakter ilmiah dapat dimulai sejak dini.

Peran AI kini semakin menonjol dalam menilai keterampilan abad ke-21, inti dari karakter ilmiah. Seperti yang dijelaskan oleh Care et al. (2024), terdapat berbagai tantangan dalam mengukur keterampilan lunak seperti berpikir kritis, kolaborasi, dan kreativitas. AI menawarkan instrumen penilaian yang lebih holistik dan autentik, melampaui sekadar tes pilihan ganda konvensional. Sebagai contoh, AI dapat menganalisis partisipasi siswa dalam diskusi kelompok, menilai efektivitas kolaborasi, serta mengevaluasi kualitas dan kerumitan argumen yang disampaikan dalam esai. Dengan alat penilaian berbasis AI, pendidik memperoleh pemahaman yang lebih akurat dan mendalam mengenai perkembangan karakter ilmiah peserta didik, serta mampu memberikan umpan balik yang lebih spesifik untuk perbaikan ke depan. Secara eksplisit AI berperan tidak hanya dalam mendukung proses

pembelajaran, tetapi juga dalam mengukur keberhasilan penanaman karakter ilmiah secara lebih objektif dan komprehensif.

Pemanfaatan AI dalam pengembangan karakter ilmiah juga tidak sekadar mengadopsi teknologi baru, melainkan memanfaatkan potensi AI untuk merevolusi pendidikan secara fundamental. Mulai dari menstimulasi rasa ingin tahu melalui pengalaman interaktif hingga menanamkan ketekunan melalui umpan balik personal, AI dapat menjadi mitra esensial bagi pendidik. AI turut mendorong pengembangan berpikir kritis dengan menyediakan data untuk dianalisis dan mendukung kejujuran ilmiah melalui alat verifikasi. Selain itu, AI memfasilitasi kolaborasi, menumbuhkan metakognisi, serta mengaitkan pembelajaran dengan isu-isu global yang relevan. AI juga mampu beradaptasi dengan perkembangan peserta didik dan membantu mengevaluasi keterampilan esensial. Pada akhirnya, tujuan utama pemanfaatan AI bukanlah menggantikan peran manusia dalam pendidikan, melainkan memperkuatnya mewujudkan sinergi antara kecerdasan buatan dan kecerdasan manusia guna membentuk generasi yang cerdas, berintegritas, serta siap menghadapi tantangan zaman.

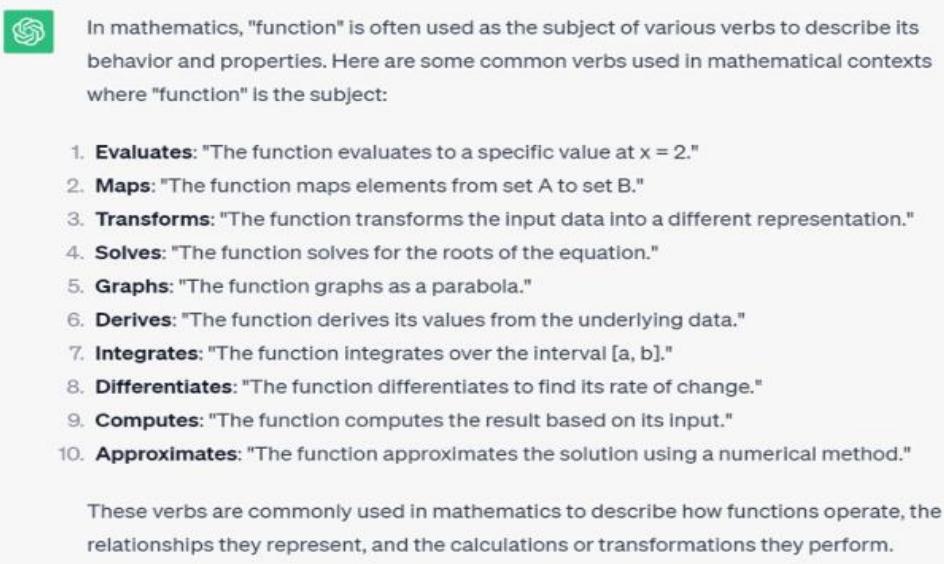
## B. Konsekuensi dan Tantangan Implementasi *AI* di Sekolah

Integrasi kecerdasan buatan (AI) ke dalam ranah pendidikan jelas menghadirkan perubahan signifikan yang tidak bisa diabaikan begitu saja. Ini bukan hanya persoalan teknologi mutakhir, melainkan juga menyentuh fondasi pendidikan yang telah lama ada. Di satu sisi, pemanfaatan AI membuka peluang besar untuk personalisasi pembelajaran, peningkatan efisiensi, serta akses yang jauh lebih luas. Siswa kini dapat belajar sesuai kebutuhan dan gaya mereka sendiri, guru mampu lebih fokus pada interaksi yang bermakna, dan manajemen sekolah menjadi semakin efektif. Meski demikian, kehadiran AI juga membawa tantangan, baik dari sisi etika, pedagogi, maupun aspek praktis yang memerlukan perhatian serius. Diskusi mengenai implementasi AI di sekolah tidak boleh hanya berfokus pada potensi positif, tetapi juga harus mengulas dampak serta tantangan yang mungkin timbul. Pemahaman yang menyeluruh terhadap berbagai aspek ini sangat penting agar ekosistem pendidikan yang tercipta dapat memanfaatkan AI secara optimal tanpa mengorbankan nilai-nilai kemanusiaan dan tujuan pendidikan yang lebih esensial, termasuk pembentukan karakter peserta didik.

Salah satu dampak positif yang menonjol dari penggunaan AI dalam pendidikan ialah personalisasi pembelajaran dalam skala besar, yang mengakhiri paradigma satu metode untuk semua. Sistem AI memiliki kemampuan untuk menganalisis data kinerja siswa secara real-time, mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, hingga gaya belajar unik setiap

individu. AI memungkinkan pengalaman belajar yang benar-benar disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing siswa, sehingga paradigma pendidikan pun berubah dari model yang kaku menjadi lebih dinamis dan adaptif (Niemi et al., 2023). Misalnya, siswa yang mengalami kesulitan pada materi matematika dapat memperoleh dukungan tambahan yang relevan, sementara siswa dengan kecepatan belajar tinggi mendapat tantangan baru supaya tetap termotivasi. Pendekatan ini memungkinkan siswa belajar dengan tempo dan materi yang sesuai, sehingga efektivitas pembelajaran meningkat dan potensi masing-masing individu dapat berkembang secara optimal.

Gambar 3. Contoh Penyelidikan Linguistik Matematika dengan “AI”



In mathematics, "function" is often used as the subject of various verbs to describe its behavior and properties. Here are some common verbs used in mathematical contexts where "function" is the subject:

1. **Evaluates:** "The function evaluates to a specific value at  $x = 2$ ."
2. **Maps:** "The function maps elements from set A to set B."
3. **Transforms:** "The function transforms the input data into a different representation."
4. **Solves:** "The function solves for the roots of the equation."
5. **Graphs:** "The function graphs as a parabola."
6. **Derives:** "The function derives its values from the underlying data."
7. **Integrates:** "The function integrates over the interval  $[a, b]$ ."
8. **Differentiates:** "The function differentiates to find its rate of change."
9. **Computes:** "The function computes the result based on its input."
10. **Approximates:** "The function approximates the solution using a numerical method."

These verbs are commonly used in mathematics to describe how functions operate, the relationships they represent, and the calculations or transformations they perform.

*Sumber:* Steffen (2025)

Selain aspek personalisasi, penerapan AI juga meningkatkan efisiensi serta memberikan analisis data yang lebih mendalam bagi para pendidik. Tugas administratif yang bersifat berulang, seperti penilaian tugas atau pengelolaan jadwal kelas, dapat diotomatisasi oleh AI, sehingga waktu guru dapat lebih banyak digunakan untuk interaksi bermakna dengan siswa, seperti pembinaan personal, diskusi kritis, ataupun proyek kreatif yang membutuhkan sentuhan manusiawi. Sebagaimana dalam hal ini Glückler & Panitz (2024) menyoroti pentingnya kemampuan mengorganisasi serta menganalisis data di era digital, di mana AI memberikan guru wawasan terperinci terkait perkembangan kelas maupun siswa. Pengambilan keputusan pedagogis dapat diambil secara lebih tepat dan berbasis data. Selain itu, data ini juga dapat digunakan untuk menilai keterampilan abad ke-21. Care et al. (2024)

menunjukkan bahwa AI dapat menyediakan alat penilaian yang lebih holistik dan autentik, termasuk dalam mengukur keterampilan lunak yang selama ini sulit diukur dengan cara konvensional.

Salah satu dampak positif yang cukup signifikan dari penerapan AI di dunia pendidikan adalah meningkatnya aksesibilitas dan pemerataan, khususnya bagi siswa di daerah terpencil atau mereka yang memiliki kebutuhan khusus. AI pada dasarnya mampu menyediakan sumber belajar yang hampir tidak terbatas, menghadirkan tutor virtual yang siap diakses kapan saja, serta materi yang dapat diadaptasi sesuai bahasa dan gaya belajar siswa. Adapun hambatan geografis maupun fisik yang selama ini menjadi tantangan klasik dalam pendidikan dapat diatasi secara lebih efektif. Seperti yang diungkapkan oleh Reimers (2020) pendidikan memang seharusnya berkontribusi untuk menciptakan dunia yang lebih baik, dan akses pendidikan yang setara merupakan salah satu fondasinya. Melalui pemanfaatan AI, siswa dari berbagai latar belakang baik geografis maupun sosial ekonomi memiliki kesempatan untuk menikmati kurikulum berkualitas serta mendapatkan bimbingan individual, sesuatu yang sebelumnya hanya bisa diakses di kota-kota besar atau lembaga pendidikan swasta. Selain itu, AI juga dimungkinkan untuk dikembangkan sebagai alat bantu belajar bagi penyandang disabilitas, misalnya dengan fitur teks-ke-ucapan atau visualisasi data yang terpersonalisasi. Meski demikian, semua manfaat tersebut sangat bergantung pada ketersediaan infrastruktur digital dan kebijakan yang mendukung, yang tentunya masih menjadi tantangan tersendiri dan perlu dikaji lebih lanjut.

Selanjutnya, AI juga mendorong lahirnya pembelajaran yang lebih kreatif dan interaktif. Peran siswa pun mengalami pergeseran, dari sekadar konsumen pasif pengetahuan menjadi pencipta aktif. Dalam pandangan Urmeneta & Romero (2024) yang menyoroti beragam cara AI dapat memfasilitasi proses kreatif, seperti membantu siswa mengembangkan ide proyek seni, merancang prototipe produk, atau menyediakan simulasi virtual agar eksplorasi konsep ilmiah menjadi lebih interaktif dan imajinatif. Bahkan, Edwards & Straker (2025) menambahkan bahwa pembelajaran berbasis AI di era digital dapat diterapkan secara efektif, bahkan untuk usia dini melalui pengalaman yang interaktif. Implikasi dari perubahan ini adalah pergeseran peran peserta didik dari penerima informasi menjadi inovator dan perancang aktif. Dalam konteks ini, AI berfungsi sebagai “kanvas” maupun “alat” yang memungkinkan siswa berkreasi, bereksplorasi, serta memecahkan masalah menggunakan cara-cara baru yang sebelumnya tidak terbayangkan, sehingga menumbuhkan karakter ilmiah dan pola pikir inovatif.

Namun, tidak dapat dipungkiri bahwa penerapan AI di lingkungan pendidikan juga membawa tantangan etis dan sosial yang cukup kompleks. Salah satu tantangan utamanya adalah bias algoritma dan potensi diskriminasi. Sistem AI umumnya dibangun dan dilatih menggunakan data historis yang

mengandung bias sosial, stereotip, bahkan ketimpangan yang telah lama ada di masyarakat. Tanpa pengawasan yang ketat, algoritma tersebut justru dapat memperkuat bias, misalnya dalam memberikan rekomendasi jalur karier, menilai potensi siswa secara tidak adil, bahkan memprediksi keberhasilan akademik berdasarkan faktor-faktor yang bias. Maka dari itu, sangat penting kiranya membangun hubungan kritis antara siswa dan teknologi AI, agar mereka mampu mengidentifikasi serta mengkritisi bias tersembunyi (Guarcello & Longo, 2024). Kegagalan dalam menangani persoalan ini justru dapat mengubah sistem pendidikan yang semestinya menjadi instrumen pemerataan menjadi alat yang memperdalam ketimpangan sosial. Secara keseluruhan, peluang yang ditawarkan AI dalam pendidikan sangat besar, namun tantangan etis dan sosial yang muncul juga tidak boleh diabaikan. Perlu kebijakan dan infrastruktur yang matang agar implementasinya benar-benar bermanfaat secara luas.

Salah satu tantangan paling nyata dalam penerapan AI di pendidikan adalah kesenjangan digital atau *digital divide*. Manfaat personalisasi, efisiensi, dan aksesibilitas yang ditawarkan AI hanya benar-benar terasa jika seluruh siswa bisa menikmati akses yang setara terhadap teknologi dan koneksi internet yang memadai. Faktanya, di banyak negara berkembang, bahkan di daerah rural negara maju, masih banyak sekolah dan siswa yang belum memiliki infrastruktur memadai untuk mendukung penggunaan AI canggih. Situasi ini berisiko memperlebar jurang antara siswa yang memiliki akses dengan mereka yang tidak, sehingga kelompok yang kurang beruntung semakin tertinggal. Berdasarkan hal tersebut, Care et al. (2024) telah menekankan pentingnya mempertimbangkan konteks sosial dan ekonomi dalam implementasi teknologi pendidikan. Mereka menunjukkan bahwa solusi AI yang efektif di satu wilayah belum tentu relevan atau dapat diakses di wilayah lain dengan sumber daya terbatas. Maka, ini adalah tantangan keadilan sosial yang menuntut kebijakan proaktif dan perencanaan matang.

Di sisi lain, implementasi AI juga membawa tantangan serius terkait integritas akademik serta penilaian otentik. Dengan semakin canggihnya alat AI generatif, siswa kini dapat menghasilkan esai, kode, atau karya seni hanya dalam waktu singkat dan upaya minimal. Kondisi ini menimbulkan pertanyaan mendalam tentang apa yang sepatutnya dikategorikan sebagai “karya asli” siswa serta bagaimana cara mengukur pemahaman dan keterampilan mereka secara akurat. Pendidik dihadapkan pada dilema memanfaatkan AI untuk mendukung pembelajaran, namun tetap harus memastikan bahwa penilaian berlangsung valid dan benar-benar mencerminkan kemampuan siswa. Guarcello & Longo (2024) berpendapat, bahwa siswa perlu diajarkan untuk berinteraksi secara kritis dengan AI memahami kapan serta bagaimana menggunakan AI sebagai alat bantu, bukan sekadar jalan pintas yang menghindarkan mereka dari proses berpikir mendalam. Tanpa strategi

penilaian yang inovatif dan adaptif, sekolah berisiko kehilangan kemampuan dalam mengukur kemampuan berpikir kritis, orisinalitas, dan kreativitas siswa.

Terdapat pula kekhawatiran yang wajar terkait potensi hilangnya sentuhan manusiawi dalam pendidikan apabila AI terlalu mendominasi proses pembelajaran. Walaupun AI dapat mengotomasi berbagai tugas rutin, peran guru sebagai mentor, pembimbing, fasilitator, sekaligus teladan tidak dapat digantikan oleh teknologi. Guru juga berperan sebagai agen sosialisasi yang menanamkan nilai-nilai etis, empati, keterampilan sosial, dan kecerdasan emosional yang penting dalam pembentukan karakter siswa. Dalam hal ini, Niemi et al. (2023) mengingatkan bahwa tujuan utama pendidikan adalah membentuk manusia seutuhnya, bukan sekadar menghasilkan pekerja yang terampil secara teknis. Jika sekolah terlalu mengandalkan AI, dikhawatirkan interaksi manusiawi yang membentuk karakter dan komunitas sekolah justru akan semakin berkurang. Tantangan utamanya adalah menemukan keseimbangan agar AI digunakan untuk meningkatkan, bukan menggantikan, peran sentral manusia dalam pendidikan, sehingga relasi guru dan siswa tetap menjadi inti pengalaman belajar.

Masalah privasi dan keamanan data siswa juga merupakan tantangan yang tidak dapat diabaikan. Implementasi AI yang efektif seringkali membutuhkan pengumpulan data dalam jumlah besar, termasuk data akademik, perilaku, minat, hingga interaksi daring siswa. Pengumpulan data ini menimbulkan kekhawatiran mengenai bagaimana data disimpan, digunakan, dan dilindungi. John (2025) menegaskan pentingnya aspek etika dan tanggung jawab dalam pemanfaatan teknologi. Terdapat pertanyaan mendasar, *siapa yang memiliki akses ke data tersebut, bagaimana data digunakan untuk mengambil keputusan tentang siswa, serta apa konsekuensinya jika data bocor atau disalahgunakan?* Sekolah perlu berinvestasi dalam sistem keamanan data yang andal, merumuskan kebijakan privasi yang transparan, serta mengedukasi siswa dan orang tua mengenai pentingnya privasi digital, agar data sensitif siswa tetap terlindungi dan tidak dimanfaatkan secara tidak semestinya. Singkatnya, penerapan AI di pendidikan bukan sekadar soal teknologi, namun juga menyangkut keadilan, integritas, nilai kemanusiaan, dan privasi. Tanpa pendekatan yang hati-hati dan inklusif, kemajuan teknologi justru berpotensi menciptakan tantangan baru dalam dunia pendidikan.

Berdasarkan segi praktik, kenyataannya memang masih banyak guru yang belum benar-benar siap menghadapi kehadiran AI di ruang kelas. Tidak sedikit pendidik yang kurang pengetahuan, keterampilan, bahkan dukungan yang dibutuhkan untuk mengintegrasikan AI ke dalam metode pembelajaran mereka. Kecemasan pun kerap muncul baik karena kekhawatiran akan tergantikan oleh teknologi, maupun kebingungan tentang bagaimana

memanfaatkan AI secara efektif. Sebagaimana Prøitz et al. (2023) juga menyoroti adanya kesenjangan nyata antara kebijakan pendidikan di tingkat makro dan implementasi di tingkat mikro. Untuk menjawab tantangan ini, sekolah perlu berinvestasi dalam pelatihan profesional berkelanjutan, menyediakan dukungan teknis yang memadai, serta membangun kultur sekolah yang mendorong eksperimen dan inovasi. Tanpa dukungan seperti itu, potensi AI hanya akan menjadi jargon, dan implementasinya berpotensi menghadapi resistensi dari para pendidik.

Sedangkan dari sisi pembiayaan, aspek biaya juga menjadi hambatan besar, terutama bagi sekolah-sekolah dengan anggaran terbatas. Implementasi dan pemeliharaan solusi AI sering kali membutuhkan investasi besar, mulai dari perangkat keras, perangkat lunak, hingga infrastruktur jaringan yang memadai. Situasi ini rentan memperlebar kesenjangan antara sekolah dengan dana besar dan sekolah dengan sumber daya terbatas. Hal ini sangat penting bagi pendidikan yang inklusif dan dapat diakses oleh semua pihak, di mana biaya tinggi jelas menjadi penghalang signifikan (John, 2025). Tantangan utamanya adalah menemukan solusi AI yang terjangkau, terbuka, dan terukur, serta memastikan alokasi dana publik dilakukan secara adil agar seluruh sekolah, tanpa memandang latar belakang ekonomi, dapat memanfaatkan teknologi ini.

Tantangan berikutnya, yang sering kali kurang mendapat perhatian adalah soal ketergantungan siswa pada AI. Jika siswa terlalu mengandalkan AI untuk menyelesaikan tugas atau mencari ide, kemampuan berpikir mandiri, kreativitas, dan ketahanan mental mereka bisa terancam. Dalam hal ini, Okada (2025) menegaskan bahwa siswa seharusnya tetap menjadi pemikir aktif yang mampu memetakan pengetahuannya sendiri, bukan sekadar menerima hasil instan dari mesin. Ketergantungan seperti itu dapat mengikis motivasi intrinsik untuk belajar, karena proses berpikir yang menantang tergantikan oleh kemudahan yang ditawarkan AI. Pendidik perlu menekankan bahwa AI hanyalah alat bantu yang memperkuat kemampuan siswa, bukan jalan pintas yang mengurangi makna pembelajaran.

Secara keseluruhan, implementasi AI di sekolah merupakan fenomena kompleks, layaknya pedang bermata dua, menawarkan potensi besar sekaligus tantangan yang tidak ringan. Di satu sisi, AI membuka peluang personalisasi, efisiensi, dan akses yang lebih luas dalam pendidikan. Namun, tantangan etis seperti bias dan privasi, kesenjangan digital dan biaya, serta risiko pedagogis berupa ketergantungan dan hilangnya aspek humanis, tidak dapat diabaikan. Maka, langkah yang paling bijak ialah mengadopsi pendekatan yang etis, terinformasi, dan terencana, memastikan AI digunakan secara strategis demi mendukung penguatan karakter ilmiah dan keterampilan abad ke-21. Tujuan akhirnya adalah tercapainya sinergi antara kecerdasan buatan dan kecerdasan

manusia, sehingga teknologi benar-benar menjadi kekuatan positif dalam mempersiapkan individu menghadapi dunia yang terus berubah.

## BAB V

### PERAN GURU DALAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH

#### A. Guru sebagai Fasilitator Utama Penanaman Karakter Ilmiah

Dalam konteks pendidikan masa kini yang serba cepat akibat kemajuan teknologi dan melimpahnya informasi, posisi guru jelas tidak lagi bisa dipandang remeh dan mengalami perubahan yang sangat signifikan. Guru sekarang bukan sekadar penyampai materi atau satu-satunya sumber ilmu. Peran mereka telah bergeser menjadi fasilitator utama yang mendampingi siswa dalam proses pembelajaran, menumbuhkan pemikiran kritis, serta membentuk karakter secara menyeluruh. Pergeseran ini sangat penting terutama di era penuh tantangan dan ketidakpastian seperti sekarang. Pendidikan tidak lagi cukup hanya mentransfer pengetahuan akademis; guru juga harus menanamkan nilai dan keterampilan penting agar siswa mampu bertahan dan berkembang di masa depan. Di sinilah guru mengambil peran sentral, yakni sebagai perancang pengalaman belajar yang membekali siswa dengan karakter ilmiah seperti rasa ingin tahu yang tinggi, kejujuran intelektual, ketekunan, dan kemampuan berpikir kritis. Tanpa adanya keterlibatan aktif dan dedikasi dari guru, upaya penanaman karakter ilmiah tidak akan berjalan efektif. Nilai-nilai tersebut tidak bisa hanya diperoleh dari buku, melainkan harus dihidupkan, dicontohkan, dan dibangun melalui interaksi nyata antara guru dan siswa, baik di dalam maupun di luar kelas.

Sebagai fasilitator utama, guru bertugas menciptakan lingkungan belajar yang mendukung dan menumbuhkan keingintahuan siswa. Guru harus secara sadar merancang pembelajaran yang memancing pertanyaan terbuka, bukan sekadar memberikan jawaban atau menuntut hafalan. Alih-alih menyampaikan informasi sebagai kebenaran mutlak, guru dapat memulai pembelajaran dengan pertanyaan menantang, studi kasus yang memicu diskusi, atau demonstrasi eksperimen dengan hasil yang tidak pasti, sehingga siswa terdorong untuk mencari tahu sendiri. Pendekatan ini sangat sejalan dengan teori pembelajaran variasi, di mana siswa belajar melalui pengalaman ragam fenomena dan konsep, sehingga mereka terbiasa bertanya “mengapa” dan “bagaimana” secara lebih mendalam (Kullberg et al., 2024). Dengan menyediakan ruang yang aman untuk siswa bereksplorasi dan mencari jawaban secara mandiri, siswa akan merasa memiliki kendali atas proses belajarnya, yang pada akhirnya memotivasi mereka menjadi pembelajar sepanjang hayat. Strategi ini secara mendasar mengubah kelas dari sekadar tempat menerima informasi menjadi laboratorium eksplorasi aktif, di mana setiap pertanyaan dihargai dan setiap penemuan, sekecil apa pun, diapresiasi.

Selain itu, guru juga memiliki tanggung jawab moral dan intelektual sebagai teladan dalam kejujuran ilmiah dan integritas intelektual. Guru harus

selalu jujur dalam menyampaikan informasi, tidak ragu mengakui keterbatasan pengetahuan, serta memberikan penghargaan kepada sumber-sumber relevan. Di kelas, guru dapat mengajarkan pentingnya mengutip sumber dengan benar, menghargai orisinalitas ide, dan menolak praktik plagiarisme, bukan hanya sebagai aturan formal, melainkan sebagai prinsip dasar dalam dunia keilmuan. Dalam hal ini, Maulana et al. (2023) juga menekankan bahwa kualitas interaksi guru dan siswa sangat dipengaruhi oleh peran guru sebagai model moral dan intelektual. Dengan menjadi teladan yang kredibel, guru secara langsung menanamkan pemahaman bahwa integritas merupakan fondasi utama dari setiap praktik ilmiah yang valid dan kredibel, sehingga mempersiapkan siswa untuk menjadi individu yang dapat dipercaya di masa depan.

Guru bukan hanya sekadar pengajar materi, melainkan juga berperan sebagai mentor yang sangat penting dalam menanamkan ketekunan dan ketahanan mental pada siswa. Dalam proses pembelajaran, terutama di bidang ilmiah, kenyataannya siswa sering dihadapkan pada kegagalan, jalan buntu, dan tantangan yang benar-benar menguji kesabaran mereka. Pada titik ini, peran guru bukanlah melindungi siswa dari segala kesulitan, tapi justru membimbing agar mereka mampu merespons secara konstruktif. Guru dapat merancang tugas-tugas yang menantang namun realistik untuk dicapai, serta memberikan umpan balik yang menitikberatkan pada proses, bukan hanya pada hasil akhir. Dengan pendekatan seperti ini, siswa tidak mudah merasa malu atau putus asa saat mengalami kegagalan. Justru, mereka belajar bahwa kesalahan adalah bagian alami dari proses pembelajaran dan bukan indikator kegagalan pribadi. Hal ini sejalan dengan apa yang ditegaskan oleh Reimers (2021), bahwa pendidikan seharusnya menanamkan kemampuan memecahkan masalah kompleks dan bertahan dalam menghadapi kesulitan, yang hanya dapat diasah melalui latihan yang konsisten dan berulang. Guru menjadi figur pendukung yang memberikan motivasi moral serta strategi praktis, sehingga siswa terdorong untuk bangkit dari kegagalan, mencoba pendekatan baru, serta mengembangkan pola pikir berkembang (*growth mindset*) yang memandang tantangan sebagai peluang untuk bertumbuh.

Lebih dari itu, guru juga memegang peran sebagai fasilitator utama dalam membangun kemampuan berpikir kritis siswa, sebuah inti dari karakter ilmiah. Guru perlu melampaui metode pengajaran yang pasif dan aktif mendorong siswa untuk menganalisis, mengevaluasi, serta mensintesis informasi dari berbagai sumber, bahkan dari sumber yang saling bertentangan. Strategi yang dapat diterapkan antara lain penggunaan pertanyaan Sokratik yang mendorong pemikiran mendalam, memimpin diskusi terstruktur, dan memberikan tugas-tugas yang menuntut siswa memvalidasi klaim serta mengidentifikasi bias. Pandangan Prøitz et al. (2023) menekankan pentingnya implementasi kebijakan pendidikan yang berorientasi pada pemikiran kritis ke

dalam praktik kelas yang konkret dan terukur. Guru pun dapat memanfaatkan studi kasus atau berita terkini sebagai bahan ajar, menugaskan siswa menganalisis dari berbagai perspektif, dan membangun argumen yang didukung bukti kuat, bukan sekadar opini. Singkatnya, guru melatih siswa menjadi pemikir mandiri yang mampu menolak klaim tidak berdasar dan tidak mudah terpengaruh oleh disinformasi atau propaganda, terutama di era digital saat ini.

Di samping itu, guru memiliki peran sentral dalam memfasilitasi kolaborasi dan kerja sama di kelas, salah satu keterampilan abad ke-21 yang krusial. Guru dapat merancang proyek kelompok yang wajibkan siswa untuk berbagi pengetahuan, mendengarkan berbagai ide, dan bekerja sama secara sinergis dalam mencapai tujuan bersama. Melalui peran ini, guru menanamkan pemahaman bahwa ilmu pengetahuan dan inovasi merupakan hasil usaha kolektif yang membutuhkan komunikasi efektif, negosiasi yang bijak, dan saling menghargai. AI dapat mendukung kolaborasi, namun guru tetap berperan penting dalam menanamkan nilai-nilai sosial yang mendasari prosesnya. Guru juga bertanggung jawab dalam mengelola konflik, mengajarkan pemberian kritik yang membangun, serta mendorong siswa untuk merayakan keberhasilan bersama (Niemi et al., 2023). Akhirnya, guru mempersiapkan siswa menjadi anggota tim yang efektif di dunia kerja yang semakin terhubung, di mana kemampuan bekerja sama merupakan aset yang sangat berharga.

Menjadi guru di masa sekarang jelas merupakan tantangan besar, terutama dengan beban administrasi dan kurikulum yang makin kompleks. Seperti yang diungkapkan oleh Gehrman & Germer (2025), profesi guru saat ini dihadapkan pada berbagai persoalan serius, salah satunya kekurangan tenaga pengajar. Kondisi ini secara langsung membatasi guru dalam menjalankan peran sebagai fasilitator secara optimal. Beban kerja yang berlebihan sering kali mengurangi waktu guru untuk merancang pengalaman belajar inovatif, memberikan umpan balik personal, maupun membangun relasi yang bermakna dengan siswa. Karenanya, sistem pendidikan perlu memberikan dukungan konkret pada guru mulai dari pengurangan beban administrasi yang tidak relevan, pelatihan berkelanjutan, sampai ruang untuk mengeksplorasi strategi pembelajaran inovatif. Tanpa adanya dukungan struktural semacam ini, guru akan kesulitan untuk bertransformasi dari peran tradisional sebagai penyampai materi menjadi fasilitator karakter ilmiah yang efektif.

Dalam konteks pemanfaatan teknologi, guru juga diharapkan mampu menjadi pemandu yang cermat dalam penggunaan AI. Meskipun AI menawarkan dukungan dalam personalisasi pembelajaran dan analisis data, tanggung jawab utama tetap berada pada guru untuk membimbing siswa terkait etika penggunaan AI, potensi bias algoritma, serta pentingnya menjaga

aspek manusiawi dalam proses belajar. Seperti ditegaskan oleh Bower & von Mengersen (2025), peran guru adalah membimbing siswa agar dapat memanfaatkan teknologi sebagai alat ekspresi dan inovasi, bukan sebagai pengganti proses berpikir kritis atau kreativitas. Guru perlu menanamkan pemahaman bahwa AI hanyalah alat bantu yang mendukung kemampuan siswa, bukan jalan pintas untuk menghindari proses berpikir esensial. Secara eksplisit guru harus memastikan agar siswa mampu mengembangkan relasi yang kritis dan produktif dengan teknologi, sehingga mereka tetap menjadi subjek utama dalam proses pembelajaran.

Strategi yang efektif untuk mengintegrasikan nilai-nilai ilmiah di setiap mata pelajaran memerlukan pendekatan lintas disiplin. Misalnya, dalam pelajaran bahasa, guru dapat mengajak siswa menganalisis argumen berita dan mengidentifikasi potensi bias, guna melatih kemampuan berpikir kritis. Dalam pelajaran sejarah, siswa diajak memvalidasi sumber serta menyusun argumen berbasis data, untuk membangun kejujuran intelektual. Pada pelajaran seni, AI bisa dimanfaatkan sebagai alat kreatif, sementara siswa diajak merefleksikan proses kreatif tersebut sebagai bentuk pengembangan metakognisi. Guru sebagai fasilitator, memiliki fleksibilitas untuk menyesuaikan pendekatan ini dengan kurikulum yang berlaku, sekaligus menegaskan bahwa karakter ilmiah relevan di semua bidang, bukan hanya pada sains.

Sementara itu, peran guru sebagai fasilitator juga mencakup kemampuan melakukan evaluasi yang holistik dan formatif. Penilaian di sekolah seyogyanya tidak hanya berfokus pada hasil tes berbasis hafalan, tetapi juga menilai proses dan perkembangan karakter siswa. Guru dapat menggunakan rubrik untuk menilai partisipasi diskusi, kualitas argumen, ketekunan menghadapi tantangan, serta kemampuan kolaborasi. Penilaian semacam ini memberikan umpan balik yang lebih komprehensif, mendorong siswa untuk lebih fokus pada proses belajar daripada sekadar mengejar nilai akhir. Walaupun AI dapat digunakan untuk membantu menilai keterampilan seperti kolaborasi dan berpikir kritis (Care et al., 2024), interpretasi dan intervensi bermakna tetap menjadi domain guru agar penilaian tidak kehilangan makna maupun relevansi.

Guru tetap menjadi poros utama yang menghubungkan antara kebijakan pendidikan dan praktik nyata di kelas. Seringkali, jurang antara idealisme dalam kebijakan dan situasi yang dihadapi guru sehari-hari cukup lebar (Prøitz et al., 2023). Dalam konteks ini, guru diharapkan mampu menerjemahkan kebijakan penanaman karakter ilmiah secara kreatif dan strategis ke dalam aktivitas pembelajaran yang relevan dan aplikatif. Hal ini meliputi penyesuaian kurikulum, perancangan proyek terintegrasi, serta pemanfaatan sumber daya yang tersedia agar tujuan karakter ilmiah tidak sekadar menjadi wacana, melainkan benar-benar terimplementasi di ruang kelas. Untuk itu,

guru memerlukan otonomi pedagogis yang lebih luas dan didukung oleh sistem pendidikan yang adaptif.

Selain itu, guru juga berfungsi sebagai penghubung antara sekolah dan masyarakat. Guru diharapkan dapat membantu peserta didik memahami relevansi pembelajaran dengan persoalan nyata di lingkungan sosial. Melalui pelibatan profesional dari berbagai bidang, penugasan proyek berbasis komunitas, atau penggunaan isu aktual sebagai bahan ajar, guru menunjukkan bagaimana karakter ilmiah dapat diterapkan dalam memecahkan persoalan sosial, lingkungan, dan ekonomi. Sebagaimana pandangan Akgün & Alpaydin (2022) yang menyoroti pentingnya pendidikan dengan orientasi pada kebutuhan masyarakat dan dunia kerja. Dalam hal ini, guru berperan sebagai fasilitator yang menghubungkan pengetahuan teoritis dengan aplikasi praktis, menumbuhkan rasa tanggung jawab sosial dan etika pada peserta didik, serta mempersiapkan mereka menjadi warga negara yang aktif dan berkontribusi.

Peran guru sebagai fasilitator membuat mereka dituntut untuk menjadi pembelajar sepanjang hayat. Di tengah perubahan yang sangat cepat, guru tidak dapat hanya mengandalkan pengetahuan yang diperoleh dari pendidikan formal sebelumnya. Peningkatan kompetensi melalui penguasaan teknologi baru, strategi pengajaran inovatif, serta pemahaman terhadap perkembangan riset pendidikan menjadi kebutuhan yang tidak dapat dihindari. Reimers (2021) menekankan bahwa guru yang efektif adalah mereka yang terus mengembangkan diri dan profesionalismenya. Dengan demikian, guru tidak hanya meningkatkan efektivitas pembelajaran, tetapi juga menjadi contoh inspiratif bagi peserta didik mengenai pentingnya pembelajaran sepanjang hayat.

Alhasil, guru sebagai fasilitator utama memegang peranan kunci dalam keberhasilan penanaman karakter ilmiah. Peran mereka melampaui batas tradisional, mencakup sebagai panutan, mentor, navigator teknologi, serta penghubung antara teori dan praktik. Guru tidak hanya menyampaikan materi, tetapi juga membimbing peserta didik menjadi individu berintegritas, memiliki rasa ingin tahu, dan ketahanan mental. Mereka menciptakan lingkungan kelas yang mendukung eksplorasi, kreativitas, dan kolaborasi. Meskipun tantangan seperti kekurangan guru dan kesenjangan antara kebijakan dan praktik masih ada, peran guru tetap tidak tergantikan. Melalui dedikasi, inovasi strategi, dan dukungan sistem yang memadai, guru dapat menanamkan karakter ilmiah secara efektif serta mempersiapkan generasi yang bertanggung jawab dan siap menghadapi kompleksitas masa depan.

Singkatnya, peran guru sekarang jelas lebih dari sekadar sumber pengetahuan; mereka kini menjadi fasilitator utama yang menginspirasi, membimbing, dan memberdayakan siswa. Strategi yang diadopsi guru beragam, mulai dari menciptakan lingkungan belajar yang menumbuhkan rasa ingin tahu, menjadi teladan dalam kejujuran ilmiah, menanamkan ketekunan,

hingga mendorong berpikir kritis, kolaborasi, serta pemanfaatan teknologi. Semua hal ini diarahkan untuk membangun individu dengan fondasi karakter ilmiah yang kokoh. Guru berperan sebagai arsitek pengalaman belajar yang bermakna, menghubungkan pengetahuan teoretis dengan realitas kehidupan sehari-hari, serta mempersiapkan siswa agar menjadi pemikir mandiri sekaligus warga negara yang bertanggung jawab. Pada akhirnya, investasi dalam pengembangan profesional guru merupakan investasi bagi masa depan pendidikan itu sendiri, memastikan generasi mendatang tidak hanya terampil secara akademis, tetapi juga memiliki karakter yang tangguh dan beretika untuk menghadapi tantangan dunia modern.

## B. Urgensi Pelatihan Guru dalam Pemanfaatan Teknologi *AI*

Di tengah derasnya arus transformasi digital yang begitu masif, sektor pendidikan jelas tidak bisa lagi menghindar dari dampaknya, terutama terkait implementasi teknologi kecerdasan buatan (AI). Saat ini, pelatihan guru dalam pemanfaatan AI bukan sekadar pilihan tambahan, melainkan sudah menjadi kebutuhan strategis yang tak bisa ditunda. Era di mana guru hanya mengandalkan metode konvensional dan buku teks sudah lewat; kini, guru dituntut untuk mampu menyesuaikan diri dengan ekosistem pembelajaran yang semakin kompleks, di mana AI telah menjadi bagian penting dalam dinamika kelas dan proses pembelajaran. Karenanya, pelatihan guru yang komprehensif tidak cukup hanya pada aspek teknis, melainkan harus dipandang sebagai investasi mendasar agar para pendidik memiliki kemampuan yang diperlukan untuk memaksimalkan AI sebagai instrumen pedagogis. Selain itu, guru juga perlu dibekali pemahaman terhadap tantangan etis, pedagogis, dan sosial yang muncul seiring integrasi AI. Untuk itu, pelatihan ini menjadi syarat utama agar integrasi AI dalam kurikulum berjalan secara bijaksana, sehingga guru dapat memberikan dukungan optimal dalam membentuk karakter ilmiah siswa serta menyiapkan mereka menjadi pembelajar yang adaptif dan kritis di era modern.

Urgensi pelatihan tersebut muncul dari adanya kesenjangan yang nyata antara perkembangan teknologi yang begitu pesat dengan praktik pedagogis yang kadang tertinggal. Banyak guru, terutama dari generasi sebelumnya, merasa kurang yakin atau bahkan khawatir mengenai cara mengintegrasikan AI tanpa mengorbankan kualitas pembelajaran yang telah terbangun. Pelatihan yang terstruktur dan relevan dibutuhkan agar guru memperoleh pemahaman konseptual mengenai AI, bukan sekadar sebagai alat operasional, tetapi juga sebagai fenomena yang membentuk masyarakat, ilmu pengetahuan, dan pola pikir. Dalam hal ini, Niemi et al. (2023) menekankan bahwa guru harus menjadi desainer pembelajaran yang cerdas, yang artinya tidak hanya menguasai teknologi, tetapi juga memahami bagaimana AI dapat menciptakan pengalaman belajar yang personal dan adaptif, serta merancang kurikulum

yang memanfaatkan AI untuk mencapai tujuan pendidikan yang lebih tinggi. Tanpa pelatihan tersebut, potensi AI dalam mendukung personalisasi pembelajaran seperti pembelajaran sesuai kecepatan dan kebutuhan siswa, umpan balik instan, serta materi yang disesuaikan akan tetap jadi konsep ideal, belum terwujud dalam praktik nyata di kelas.

Selanjutnya, aspek etis dan tanggung jawab moral menjadi alasan utama lainnya mengapa pelatihan guru sangat penting. Teknologi AI memang menawarkan manfaat besar, tetapi juga membawa risiko seperti bias algoritma dan isu privasi data siswa. Guru perlu dilatih untuk mampu mengenali dan mengelola risiko ini, serta membimbing siswa memahami konsekuensi etis penggunaan AI, misalnya pentingnya memverifikasi sumber, etika penggunaan alat generatif, dan kesadaran akan data pribadi. Prøitz et al. (2023) menyoroti adanya jeda antara idealisme kebijakan dan praktik nyata, di mana isu etika AI menjadi salah satu contohnya. Tanpa pelatihan yang memadai, guru dapat secara tidak sadar menggunakan AI yang bias atau kurang memahami risiko privasi pada *platform* tertentu. Oleh sebab itu, pelatihan harus mencakup modul etika digital, agar guru dapat bertindak sebagai pembimbing moral yang bijaksana di era teknologi dan memastikan teknologi digunakan untuk kebaikan bersama.

Pelatihan guru dalam integrasi AI saat ini jelas menjadi kebutuhan yang sangat mendesak. Tidak sedikit guru yang masih merasa cemas, khawatir AI akan mengambil alih peran mereka di kelas. Padahal, kenyataannya AI hadir sebagai alat pendukung yang mampu membebaskan guru dari tugas-tugas repetitif, sehingga mereka dapat lebih fokus pada peran-peran esensial seperti menjadi mentor, fasilitator, ataupun pembimbing siswa. Bower & von Mengersen (2025) dalam karyanya juga menegaskan pentingnya pelatihan pendidik agar mampu memanfaatkan teknologi termasuk AI sebagai medium untuk mengekspresikan kreativitas sekaligus mendorong inovasi. Melalui pelatihan yang tepat, guru dapat memahami bagaimana AI bisa dimanfaatkan untuk menstimulasi kreativitas siswa, misalnya lewat simulasi virtual, perangkat desain generatif, maupun *platform* interaktif yang mendorong eksperimen, dan bukan sekadar untuk mengotomatisasi proses penilaian. Maka dari itu, pelatihan ini berperan dalam mengubah sudut pandang guru, dari melihat AI sebagai ancaman menjadi mitra kreatif yang dapat meningkatkan kualitas pendidikan secara signifikan.

Pelatihan guru juga memegang peranan sentral dalam mengatasi kesenjangan digital dan memastikan tercapainya pemerataan pendidikan. Di banyak wilayah terutama di negara berkembang atau daerah terpencil guru kerap kali menjadi satu-satunya sumber daya yang dapat mengenalkan AI kepada siswa. Jika guru belum memiliki keterampilan dan kepercayaan diri dalam menggunakan AI, tentu mereka tidak akan dapat membimbing siswa secara efektif. Hal ini berisiko memperlebar jurang antara mereka yang

memiliki akses pendidikan berbasis AI dan yang tidak. Sebagaimana pandangan Reimers (2021) menegaskan bahwa pendidikan harus menjadi instrumen pemerataan, dan pelatihan guru menjadi kunci utama dalam mencapai tujuan tersebut. Melalui pelatihan yang merata, terutama di sekolah dengan sumber daya terbatas, seluruh siswa berpeluang memperoleh kesempatan setara dalam memanfaatkan AI sehingga ketidaksetaraan pendidikan dapat diminimalkan.

Tantangan lain yang semakin mempertegas urgensi pelatihan guru ialah kebutuhan peningkatan profesionalisme di tengah perubahan zaman yang sangat cepat. Profesi guru dituntut untuk terus beradaptasi. Dalam hal ini, Akgün & Alpaydin (2022) menyoroti pentingnya kebijakan pendidikan yang secara aktif mendukung pengembangan profesional guru secara berkelanjutan. Pelatihan AI seharusnya menjadi bagian integral dari proses pengembangan tersebut, bukan sekadar agenda sesaat, melainkan bagian dari pembelajaran berkelanjutan. Guru perlu diberikan ruang untuk terus belajar, bereksperimen, dan berbagi praktik terbaik terkait pemanfaatan AI, sehingga mereka mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi. Pelatihan yang berkelanjutan juga berpotensi meningkatkan kepercayaan diri guru, mengurangi kecemasan, serta memotivasi mereka untuk terus berinovasi dalam proses pembelajaran dan menjadi pemimpin visioner.

Lalu, selatihan guru sangat penting agar mereka mampu melakukan penilaian yang autentik dan komprehensif di era AI yang semakin inovatif. Seiring berkembangnya teknologi AI generatif, guru menghadapi tantangan baru dalam membedakan karya orisinal siswa dan hasil buatan mesin. Sejalan dengan pandangan Care et al. (2024) yang membahas kesulitan dalam menilai keterampilan seperti berpikir kritis dan kolaborasi, nampak jelas tidak dapat diukur hanya melalui tes pilihan ganda. Oleh sebab itu, pelatihan AI bagi guru harus membekali mereka dengan strategi penilaian inovatif yang menekankan pada proses berpikir siswa, bukan hanya produk akhirnya, serta mengajarkan pemanfaatan AI untuk mendukung penilaian yang valid dan tidak menutupinya. Guru harus mampu merancang tugas-tugas yang mendorong siswa menunjukkan pemahaman mendalam dan kreativitas dua hal yang tidak mudah dihasilkan oleh AI. Secara keseluruhan, pelatihan guru dalam integrasi AI bukan sekadar penting, tetapi sudah menjadi kebutuhan utama dalam peningkatan kualitas sistem pendidikan di era digital saat ini.

Pelatihan guru pada hakikatnya tetap menjadi komponen utama dalam menggeser peran guru dari sekadar pengajar menuju fasilitator pembelajaran yang lebih mendalam. Seperti yang ditegaskan oleh Reimers (2021), inti dari pembelajaran yang mendalam tidak lagi semata-mata hafalan, melainkan pemahaman konseptual, berpikir kritis, serta kemampuan pemecahan masalah. Dalam konteks ini, pemanfaatan AI bila dioptimalkan secara tepat memiliki potensi besar sebagai alat pendukung untuk mewujudkan

pembelajaran semacam ini. Walaupun demikian, guru perlu diberikan pelatihan yang memadai agar mampu merancang kurikulum dan aktivitas pembelajaran yang memanfaatkan AI secara efektif demi mencapai tujuan tersebut. Pelatihan seharusnya tidak hanya terbatas pada aspek teknis penggunaan AI, tetapi juga membekali guru dengan pemahaman tentang bagaimana AI dapat digunakan untuk mendorong pertanyaan *Socratic*, mengelola proyek kolaboratif, serta menumbuhkan kemandirian berpikir pada siswa. Guru yang telah mendapatkan pelatihan yang baik akan dapat memanfaatkan AI untuk memberikan umpan balik yang bersifat personal dan terarah, sehingga siswa dapat merefleksikan proses belajar mereka secara mandiri sebuah keterampilan metakognitif yang sangat penting dalam pendidikan modern.

Adapun tantangan terkait beban kerja guru juga perlu menjadi perhatian utama. Permasalahan seperti kekurangan tenaga pengajar dan beban administratif yang berat, sebagaimana diidentifikasi oleh Gehrman & Germer (2025), seringkali menjadi hambatan signifikan bagi guru untuk berinovasi dan membangun interaksi personal yang bermakna dengan siswa. Melalui pelatihan yang terfokus pada pemanfaatan AI, guru dapat mempelajari bagaimana teknologi ini mampu mengotomatisasi tugas-tugas berulang seperti mengoreksi tugas esai, memberikan umpan balik tata bahasa, atau menganalisis data kehadiran siswa. Alhasil, guru dapat mengalokasikan lebih banyak waktu dan energi untuk pembelajaran yang bersifat personal, merancang kegiatan yang lebih menarik dan menantang, serta memperkuat pembinaan emosional dan pengembangan sosial siswa fungsi-fungsi penting yang tidak dapat digantikan oleh AI.

Perlu dicatat, pelatihan guru yang efektif harus melampaui sekadar instruksi teknis atau “mengklik tombol.” Fokus utamanya adalah pada pedagogi digital yang mendalam, yaitu integrasi antara teori pembelajaran dan teknologi secara sistematis dan terstruktur. Pelatihan tidak hanya tentang cara mengoperasikan aplikasi AI, melainkan juga mengenai bagaimana mengintegrasikan aplikasi tersebut ke dalam strategi pengajaran yang lebih luas. Pemahaman tentang teori-teori pembelajaran, misalnya teori variasi yang dikemukakan oleh Kullberg et al. (2024), menjadi sangat relevan. Guru perlu mengetahui bagaimana AI dapat dimanfaatkan untuk menciptakan variasi pengalaman belajar yang kaya misalnya, menyampaikan konsep yang sama dari berbagai perspektif atau media sehingga siswa memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif dan mendalam. Akhirnya, AI benar-benar dapat memperkaya proses pembelajaran, bukannya mengganggu atau mempercepat proses pembelajaran yang dangkal.

Nampaknya urgensi pelatihan guru semakin jelas bila dikaitkan dengan kesenjangan antara idealisme kebijakan dan implementasi praktis di lapangan. Kebijakan pendidikan yang mendorong adopsi AI secara ambisius seringkali

gagal jika tidak diiringi pelatihan yang memadai. Sebagaimana dalam hal ini Prøitz et al. (2023) menyoroti bahwa “policy-to-practice gap” merupakan hambatan utama dalam reformasi pendidikan. Guru yang tidak mendapatkan pelatihan akan merasa tidak berdaya dan kekurangan strategi praktis untuk menerapkan kebijakan tersebut, sehingga menimbulkan frustrasi dan resistensi. Karenanya, pelatihan yang terencana dan didukung secara sistematis sangat diperlukan agar guru memiliki alat serta strategi konkret untuk menerjemahkan visi kebijakan ke dalam praktik nyata di kelas, sehingga investasi dalam teknologi AI dapat memberikan hasil yang signifikan, bukan sekadar menjadi wacana di tingkat birokrasi.

Pelatihan guru yang berfokus pada AI dewasa ini benar-benar menjadi kebutuhan mendesak dalam pengembangan profesionalisme guru sebagai pembelajar sepanjang hayat karakter yang sangat vital di tengah perubahan zaman yang begitu cepat. Tidak lagi relevan jika guru hanya mengandalkan pengetahuan lama yang diperoleh semasa kuliah. Seiring kemajuan teknologi, guru dituntut untuk terus memperbarui wawasan, baik terkait AI, strategi pengajaran inovatif, maupun perkembangan terbaru dalam penelitian pendidikan. Seperti yang ditegaskan Reimers (2021), guru yang efektif adalah mereka yang selalu berupaya meningkatkan kualitas diri dan profesionalismenya melalui pola pikir bertumbuh (*growth mindset*). Dengan menjadi pembelajar seumur hidup, guru tidak hanya meningkatkan efektivitas pengajaran, tetapi juga menjadi teladan inspiratif bagi siswa, memperlihatkan bahwa proses pembelajaran merupakan perjalanan berkelanjutan dan bagian esensial dari kehidupan agar tetap relevan dan berkembang di era yang dinamis.

Selain itu, pelatihan guru sangat penting dalam memberdayakan mereka agar mampu menjadi penghubung antara sekolah dan dunia luar, guna memastikan pendidikan tetap relevan dengan realitas global. Guru diharapkan mampu membantu siswa memahami relevansi materi pembelajaran dengan permasalahan nyata dan tantangan global. Melalui AI, guru dapat mengajak siswa menganalisis data lingkungan, mensimulasikan model ekonomi, hingga merancang solusi inovatif atas tantangan sosial. Hal ini menandakan guru memperlihatkan kepada siswa bahwa pendekatan ilmiah dapat digunakan untuk memecahkan persoalan sosial, lingkungan, dan ekonomi yang kompleks. Ditambahkan pandangan Akgün & Alpaydin (2022) yang menekankan pentingnya pendidikan yang relevan dengan kebutuhan masyarakat serta dunia kerja. Dalam konteks ini, guru berperan sebagai fasilitator yang menghubungkan pengetahuan teoretis dengan aplikasi praktis, sehingga menumbuhkan rasa tanggung jawab sosial dan etis pada siswa, serta mempersiapkan mereka menjadi warga negara yang aktif dan berkontribusi.

Pada dasarnya, urgensi pelatihan guru dalam pemanfaatan teknologi AI merupakan kebutuhan untuk membekali para pendidik dengan keterampilan

dan pemahaman baru agar dapat berperan secara efektif di abad ke-21. Hal ini terkait dengan pemberdayaan guru sebagai agen perubahan yang dapat membimbing siswa menavigasi lanskap digital secara bijaksana. Pelatihan tersebut perlu bersifat holistik, mencakup aspek teknis, pemahaman pedagogis yang mendalam, kesadaran etis, dan kemampuan berinovasi. Dengan demikian, pelatihan guru menjadi langkah krusial agar integrasi AI dalam pendidikan bukan sekadar tren, tetapi benar-benar menjadi kekuatan transformatif yang mendukung pengembangan karakter ilmiah siswa, sekaligus mempersiapkan mereka menjadi warga negara yang bertanggung jawab dan kompeten di masa depan.

Akhirnya, pelatihan guru dalam pemanfaatan AI merupakan refleksi nyata dari komitmen terhadap peningkatan kualitas pendidikan masa depan. Tidak realistik untuk berharap siswa dapat memanfaatkan AI secara kreatif dan bertanggung jawab jika guru sendiri belum terlatih secara memadai. Maulana, Helms-Lorenz, dan Klassen (2023) menegaskan bahwa pengajaran yang efektif adalah kunci untuk hasil belajar yang positif. Pada era AI, pengajaran efektif jelas mensyaratkan penguasaan teknologi tersebut. Oleh karena itu, investasi dalam pelatihan guru bukan sekadar pengeluaran, melainkan merupakan investasi strategis untuk memaksimalkan potensi AI demi kepentingan siswa dan penguatan karakter ilmiah di lingkungan pendidikan yang dipandu oleh pendidik yang kompeten dan berwawasan luas. Dengan demikian, pelatihan guru merupakan fondasi esensial yang menjamin masa depan pendidikan tetap relevan, berkualitas, dan berorientasi pada nilai-nilai kemanusiaan di era digital.

## BAB VI

# IMPLEMENTASI PROGRAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH DI SEKOLAH UNGGULAN

### A. Hasil Pelaksanaan Program di Sekolah Unggulan

Pelaksanaan program penanaman karakter ilmiah di sekolah-sekolah unggulan yang menjadi subjek dalam buku ini telah menghasilkan temuan yang sangat relevan dan mendukung hipotesis awal. Lingkungan pendidikan yang tertata baik, kaya akan sumber daya, dan berorientasi inovasi terbukti mampu menumbuhkan atribut ilmiah penting dalam diri siswa. Menariknya, di sekolah-sekolah unggulan tersebut, program ini tidak ditempatkan sebagai aktivitas tambahan atau sekadar pelengkap, melainkan diintegrasikan secara utuh ke dalam kurikulum dan budaya sekolah. Fokus program tersebut adalah membekali siswa dengan kemampuan berpikir kritis, mempertajam rasa ingin tahu, menanamkan etika penelitian yang kuat, serta membangun semangat kolaborasi. Hasil yang diperoleh bahkan melampaui ekspektasi awal, membentuk ekosistem pembelajaran yang tidak lagi hanya berorientasi pada capaian akademik, tetapi juga membangun karakter ilmiah yang berkelanjutan, dan juga konsisten dengan kebutuhan pendidikan abad ke-21.

Salah satu temuan paling menonjol dari implementasi program ini adalah terciptanya lingkungan sekolah yang sangat kolaboratif. Interaksi antara siswa dan guru terbangun melalui kepercayaan, dukungan, dan semangat berbagi pengetahuan. Sekolah-sekolah unggulan yang menjadi objek penelitian secara konsisten mengedepankan prinsip kolaborasi, contohnya dengan membentuk tim guru lintas bidang seperti sains, seni, dan humaniora untuk merancang proyek-proyek kolaboratif yang memerlukan pemikiran holistik. Sebagai ilustrasi, dalam proyek perubahan iklim, guru fisika membahas prinsip termodinamika pemanasan global, guru biologi mengkaji pengaruhnya terhadap keanekaragaman hayati dan ekosistem, sementara guru seni membantu visualisasi data sehingga siswa dapat memahami isu dari berbagai perspektif. Praktik ini sejalan dengan yang diuraikan oleh Solone et al. (2020) dalam penelitiannya, yang menegaskan bahwa praktik terbaik sekolah kolaboratif berfokus pada kolaborasi guru, pembelajaran tim, dan pembinaan sejawat. Melalui kolaborasi ini, siswa belajar menghargai perbedaan perspektif, mampu mengomunikasikan gagasan dengan jelas, dan mencari solusi bersama semua ini adalah fondasi karakter ilmiah.

Keberhasilan program ini juga sangat dipengaruhi oleh karakteristik sekolah-sekolah unggulan tersebut, yang dalam operasionalnya memiliki kemiripan dengan “sekolah internasional”. Sebagaimana diungkapkan

Bunnell (2022) dalam penelitiannya bahwa sekolah-sekolah ini memiliki tingkat otonomi lebih tinggi, minim hambatan birokrasi, serta akses sumber daya yang sangat memadai, sehingga memungkinkan mereka berinvestasi dalam program-program inovatif tanpa batasan yang kaku. Situasi ini memungkinkan sekolah untuk merekrut dan mempertahankan tenaga pengajar berkualitas tinggi yang tidak hanya menguasai materi, tetapi juga terampil dalam metodologi pembelajaran berbasis proyek dan riset. Maka, peran guru tidak lagi terbatas sebagai penyampai informasi, melainkan juga sebagai fasilitator dan mentor yang aktif mendampingi proses eksplorasi dan penemuan siswa. Ketersediaan sumber daya yang memadai, baik secara finansial maupun intelektual, menjadi faktor kunci percepatan implementasi program sekaligus menjaga konsistensi dan kualitas pelaksanaannya.

Pengaruh status sosial ekonomi siswa dan sekolah jelas menjadi pembeda signifikan dalam capaian pelaksanaan program ini. Seperti telah diuraikan oleh Henseke et al. (2021) dalam penelitiannya, terdapat korelasi yang kuat antara tingkat kekayaan keluarga dengan akses terhadap pendidikan swasta berkualitas di Inggris. Dalam konteks penelitian ini, sekolah-sekolah unggulan memang umumnya didominasi oleh siswa dari latar belakang ekonomi yang lebih tinggi, sehingga sarana dan prasarana yang tersedia jauh lebih memadai dibandingkan sekolah umum pada umumnya. Akses mereka terhadap teknologi mutakhir seperti printer 3D, perangkat robotika, laboratorium modern, hingga perpustakaan digital memungkinkan siswa melakukan eksperimen dan penelitian secara lebih mendalam. Lingkungan suportif semacam ini sangat berperan dalam menstimulasi rasa ingin tahu serta semangat eksplorasi ilmiah, karena siswa merasa memiliki kebebasan lebih besar dalam mengembangkan ide tanpa terkendala keterbatasan sumber daya. Singkatnya, hasil positif yang tampak bukan semata-mata hasil dari metodologi program, melainkan sangat dipengaruhi pula oleh ekosistem pendidikan yang dibangun di atas fondasi sosial ekonomi yang kuat.

Program ini pun terbukti mampu menumbuhkan keterampilan abad ke-21 yang melampaui sekadar capaian akademik, khususnya dalam aspek kreativitas. Grey & Morris (2024) dalam penelitiannya membuktikan dengan membahas bagaimana merekonstruksi definisi kreativitas sebagai bagian integral dari keterampilan abad ke-21, dengan menekankan pemanfaatan pengetahuan, keterampilan, serta sikap untuk menghasilkan karya yang baru dan bernilai. Sekolah unggulan dalam penelitian ini merancang kurikulum yang tidak hanya menuntut hafalan, melainkan juga mendorong lahirnya solusi orisinal dan inovatif lewat proyek-proyek menantang. Penilaian autentik pun diterapkan untuk mengevaluasi keterampilan berpikir kreatif, pengembangan ide baru, serta penerapan pengetahuan dalam situasi nyata. Melalui pendekatan ini, siswa didorong untuk tidak takut gagal, memandang

kesalahan sebagai bagian dari proses belajar, dan secara bertahap membangun ketahanan intelektual yang menjadi karakter ilmuwan inovatif.

Penanaman karakter ilmiah di sini juga memiliki keterkaitan erat dengan konsep pembelajaran mendalam (*deeper learning*), sebagaimana dijelaskan oleh Reimers (2021) dalam salah satu karya monumentalnya. Hasil pelaksanaan program di sekolah unggulan menunjukkan bahwa pendekatan ini memungkinkan siswa tidak hanya menguasai materi secara permukaan, tetapi juga mampu memahami keterkaitan antar konsep, menganalisis informasi dari berbagai sumber secara kritis, serta membangun argumen berdasarkan bukti empiris. Program ini secara sistematis mendorong siswa untuk mengambil inisiatif, menantang asumsi yang ada, dan secara aktif mencari bukti guna mendukung atau menolak suatu hipotesis melalui investigasi terstruktur. Guru dalam hal ini berperan sebagai fasilitator, bukan sekadar otoritas, sehingga secara langsung menumbuhkan mentalitas ilmiah yang kritis, skeptis, dan selalu ingin memahami lebih dalam sebuah inti dari karakter ilmiah.

Penerapan AI dalam pendidikan yang menjadi bagian integral dari program di sekolah-sekolah ini juga memberikan kontribusi signifikan dalam memperkaya proses pembelajaran secara personal dan kreatif. AI tidak dimanfaatkan untuk menggantikan peran guru, melainkan sebagai akselerator pembelajaran inovatif. Dalam hal ini, Urmenate & Romero (2024) berpendapat bahwa AI dapat dimanfaatkan secara kreatif untuk memperkaya pengalaman belajar. Sekolah unggulan memanfaatkan AI tidak hanya untuk tugas administratif, tetapi juga sebagai alat pembelajaran interaktif dan personal. Contohnya, AI digunakan untuk membuat simulasi ilmiah yang kompleks, seperti model virtual tata surya atau struktur molekul, memberikan umpan balik instan pada tugas siswa, serta merekomendasikan sumber belajar sesuai dengan gaya dan kecepatan belajar masing-masing individu. Pemanfaatan AI ini membuat siswa bisa bereksperimen dengan ide ilmiah dalam lingkungan yang aman, mempercepat proses penemuan, serta mendukung pengembangan karakter ilmiah yang tangguh.

Hasil dari program ini secara jelas menegaskan bahwa penanaman karakter ilmiah memang tidak dapat dipisahkan dari pendidikan yang mengarah pada keberlanjutan global tema yang sangat esensial di era kontemporer. Sebagaimana John (2025) menggarisbawahi pentingnya membekali peserta didik untuk berpikir secara global dan bertindak secara lokal, dengan pemahaman mendalam tentang kompleksitas tantangan global. Program yang diimplementasikan di sekolah unggulan ini secara konsisten menghubungkan proyek-proyek ilmiah dengan isu-isu keberlanjutan seperti perubahan iklim, krisis air, dan energi terbarukan. Melalui pendekatan tersebut, peserta didik tidak hanya mengembangkan keterampilan ilmiah, tetapi juga meningkatkan kesadaran sosial dan etika. Mereka belajar

memanfaatkan pengetahuan ilmiah tidak semata-mata untuk kepentingan pribadi atau akademis, melainkan untuk berkontribusi pada solusi nyata atas permasalahan global sebuah langkah penting dalam membentuk karakter ilmiah yang bertanggung jawab serta berwawasan luas.

Secara menyeluruh, efektivitas program ini tidak hanya diukur melalui capaian akademik, tetapi juga melalui perubahan perilaku serta pola pikir peserta didik yang dapat diamati secara nyata. Siswa menunjukkan peningkatan signifikan dalam kemampuan berpikir kritis, kreativitas, serta kolaborasi (Grey & Morris, 2024; Solone et al., 2020), yang tercermin melalui portofolio proyek, penilaian berbasis kinerja, dan survei refleksi diri. Portofolio tersebut berfungsi bukan sekadar sebagai kumpulan tugas, melainkan sebagai dokumentasi lengkap proses berpikir, perbaikan atas kekeliruan, hingga capaian akhir dari setiap proyek. Selain itu, peserta didik menjadi lebih percaya diri dalam menghadapi tantangan kompleks serta tidak ragu untuk mempertanyakan “mengapa” dan “bagaimana” sebagai bagian dari proses investigasi mentalitas yang sangat penting bagi pengembangan karakter ilmiah. Lingkungan sekolah yang mendukung, didukung oleh sumber daya yang memadai serta kebijakan pendidikan yang progresif, memungkinkan peserta didik berkembang sebagai individu dengan rasa ingin tahu tinggi dan etika ilmiah yang kuat fondasi utama untuk masa depan yang sukses.

Peran guru sebagai fasilitator dan mentor juga merupakan kunci keberhasilan yang tidak terbantahkan. Guru di sekolah unggulan, yang umumnya memiliki kualifikasi tinggi dan secara rutin mengikuti pelatihan berkelanjutan, mampu menerapkan pendekatan pedagogis yang mendukung pembelajaran mendalam (*deeper learning*) sebagaimana disarankan oleh Reimers (2021). Mereka tidak sekadar menyampaikan materi, namun juga merancang pengalaman belajar yang mendorong siswa untuk berpikir mandiri dan memecahkan masalah dengan bimbingan yang terstruktur. Kemampuan guru dalam mengintegrasikan teknologi kecerdasan buatan secara kreatif (Urmeneta & Romero, 2024) turut memastikan teknologi berfungsi sebagai alat pemberdayaan yang meningkatkan mutu pembelajaran, bukan sekadar pengganti interaksi manusia, sehingga siswa memperoleh manfaat teknologi tanpa kehilangan kualitas pendidikan yang otentik.

Dengan demikian, hasil pelaksanaan program ini dapat menjadi model yang berharga bagi reformasi pendidikan di masa depan, khususnya dalam pembentukan karakter. Meskipun sekolah-sekolah ini memiliki keunggulan dari sisi sumber daya maupun latar belakang peserta didik (Bunnell, 2022; Henseke et al., 2021), prinsip-prinsip seperti kolaborasi antarguru, pembelajaran yang mendalam, dan integrasi teknologi secara bijak, dapat diadaptasi serta disesuaikan oleh institusi pendidikan lainnya. Keberhasilan dalam membentuk karakter ilmiah di sekolah-sekolah tersebut menegaskan bahwa pendidikan seharusnya tidak berhenti pada penguasaan konten semata,

melainkan juga membentuk individu yang mampu berpikir kritis, kreatif, dan memiliki kesadaran global yang kuat (John, 2025).

Pada praktiknya, pelaksanaan program di sekolah unggulan ini benar-benar memperlihatkan bahwa penanaman karakter ilmiah bukanlah proses sederhana. Ini memerlukan keterlibatan aktif dari seluruh ekosistem pendidikan. Bukan sekadar kebijakan tertulis, tetapi juga guru yang kompeten dan siswa yang diberikan kesempatan untuk bereksplorasi dan berkreasi. Hasil yang didapat membuktikan bahwa ketika seluruh unsur bergerak secara harmonis, pendidikan akan melahirkan lulusan yang tidak hanya unggul secara akademis, tetapi juga memiliki karakter ilmiah yang kuat siap menghadapi dan memberi kontribusi terhadap tantangan global di abad ke-21. Seperti yang diungkapkan oleh Maulana et al. (2023), bahwa pengajaran yang efektif adalah kunci untuk hasil belajar yang positif. Di era kecerdasan buatan seperti saat ini, pengajaran yang efektif menuntut pemahaman dan penguasaan terhadap teknologi tersebut. Oleh karena itu, investasi dalam pelatihan guru tidak dapat dianggap sebagai beban, melainkan langkah strategis untuk memastikan potensi AI dapat dimaksimalkan bagi kepentingan siswa. Karakter ilmiah yang diharapkan hanya akan tumbuh di lingkungan pendidikan yang didukung oleh pendidik yang kompeten dan berpikiran terbuka. Dengan demikian, pelatihan guru menjadi fondasi yang sangat penting untuk menjamin pendidikan yang adaptif serta relevan di era digital, di mana kreativitas dan etika manusia tetap menjadi inti dari setiap kemajuan.

## B. Efektivitas Program Berdasarkan Data Empiris

Keberhasilan program penanaman karakter ilmiah di sekolah-sekolah unggulan nyatanya tidak sekadar berhenti di level wacana atau kerangka konseptual yang ambisius. Justru, efektivitasnya terbukti nyata lewat data empiris yang kaya dan mendalam. Data tersebut dikumpulkan dari penelitian lapangan yang teliti melibatkan wawancara terstruktur dengan siswa, guru, maupun staf administrasi, serta observasi langsung atas dinamika pembelajaran selama paling tidak dua tahun ajaran. Pendekatan metodologis yang berlapis ini menghasilkan informasi yang autentik dan komprehensif, sehingga gambaran implementasi program di kelas beserta dampaknya terhadap seluruh pelaku pendidikan bisa terlihat jelas. Analisis data empiris yang sistematis dan multidimensional memperlihatkan secara nyata bagaimana elemen-elemen kunci program ini mulai dari kolaborasi yang erat, pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan secara strategis, hingga penekanan pada pembelajaran mendalam berpadu membangun fondasi karakter ilmiah yang kokoh dan berkelanjutan. Sinergi tersebut tidak sekadar mencetak

individu dengan kemampuan kognitif yang tinggi, tetapi juga membentuk kesiapan menghadapi tantangan kompleks di era modern.

Temuan dari wawancara mendalam dengan siswa, misalnya pada kasus salah satu siswi yang menunjukkan perubahan signifikan. Sebelumnya, ia cenderung hanya pasif menerima materi dari guru dan enggan bertanya karena khawatir dianggap tidak memahami. Namun, setelah dua tahun mengikuti program, ia menyatakan, bahwa “*Saya sekarang merasa punya ruang yang aman untuk bertanya, bereksperimen dengan ide-ide baru, dan bahkan membuat kesalahan tanpa takut dihukum. Guru mendorong kami bertanya ‘mengapa’ daripada sekadar menghafal fakta.*” Pergeseran dari pola belajar pasif menuju pembelajaran aktif yang berorientasi pada proses ini merupakan inti dari penanaman karakter ilmiah. Peningkatan tersebut juga sejalan dengan temuan Grey & Morris (2024) dalam studi penelitiannya yang menekankan pentingnya menangkap percikan kreativitas melalui pendekatan pedagogis inovatif dan berorientasi proses sesuatu yang memang tidak bisa diukur oleh tes standar. Secara empiris, siswa kini tidak lagi takut mengemukakan ide-ide yang tidak konvensional, dan bahkan memandang kegagalan sebagai bagian wajar dari siklus pembelajaran, bukan sebagai akhir proses. Cara pandang seperti ini jelas sangat penting untuk pertumbuhan intelektual siswa pada masa kini.

Berdasarkan hasil wawancara dengan para guru, didapatkan pemahaman yang sangat kuat mengenai efektivitas program ini, khususnya dalam hal transformasi peran pedagogis guru yang sebelumnya bersifat konvensional dan instruksional. Para guru secara konsisten menyatakan bahwa program ini telah membawa perubahan mendasar dari sekadar penyampaian materi menjadi fasilitator yang membimbing siswa sepanjang proses pembelajaran yang kompleks. Seperti yang diungkapkan oleh Pak Budi, guru fisika, “*Kami tidak lagi hanya mengajarkan rumus-rumus fisika dari buku, tetapi memfasilitasi siswa untuk menemukan prinsip-prinsip fisika itu sendiri melalui eksperimen mandiri yang mereka desain dan rancang sendiri.*” Peran guru kini semakin menyerupai seorang mentor yang mendampingi siswa dalam merumuskan pertanyaan, merancang metodologi penelitian, serta menganalisis data yang mereka kumpulkan. Guru merasa lebih diberdayakan untuk merancang pengalaman belajar yang menantang dan relevan, tidak hanya mengikuti kurikulum yang kaku. Transformasi peran ini sangat signifikan, sebagaimana dikemukakan Reimers (2021), bahwa pendidikan abad ke-21 perlu menekankan pembelajaran mendalam di mana guru bertindak sebagai mentor dan fasilitator pemahaman konseptual, bukan sekadar penyampaian fakta. Guru-guru di sekolah unggulan, berkat pelatihan berkelanjutan yang mereka terima, merasa lebih percaya diri dalam membimbing siswa menghadapi kompleksitas informasi dan memecahkan masalah dunia nyata yang jauh lebih rumit dibandingkan soal-soal di buku teks.

Data observasi terhadap aktivitas pembelajaran turut memperkuat temuan dari wawancara, khususnya terkait terciptanya budaya kolaborasi yang intensif dan terstruktur. Dalam pelaksanaannya, siswa bekerja dalam kelompok kecil untuk mengerjakan proyek-proyek yang menuntut kolaborasi aktif dan pembagian tugas yang jelas. Sebagai contoh, pada salah satu observasi di kelas sains, terlihat sekelompok siswa berkolaborasi menggunakan model 3D hasil cetakan printer untuk menganalisis dampak polusi mikroplastik. Setiap anggota tim memiliki peran spesifik yang saling melengkapi, seperti peneliti data yang mengumpulkan informasi dari jurnal ilmiah, desainer model untuk visualisasi 3D, penyaji yang menyiapkan presentasi, serta penanggung jawab etika penelitian. Interaksi ini memperlihatkan kemampuan siswa dalam berkomunikasi secara efektif, bernegosiasi untuk mencapai konsensus, dan memberikan dukungan satu sama lain unsur-unsur kunci dari sekolah kolaboratif sebagaimana ditekankan oleh Solone et al. (2020) dalam penelitiannya, yang menyoroti pentingnya kolaborasi guru, pengajaran tim, serta pembinaan sejawat dalam membangun lingkungan belajar yang suportif. Hasil observasi ini menjadi bukti bahwa kolaborasi tidak hanya diajarkan sebagai konsep, tetapi benar-benar dipraktikkan dan terintegrasi dalam setiap aktivitas pembelajaran, sehingga membentuk fondasi karakter ilmiah yang kooperatif.

Selain itu, pemanfaatan teknologi kecerdasan buatan (AI) juga menjadi aspek utama yang teridentifikasi dari hasil observasi, menunjukkan bahwa sekolah unggulan sudah melampaui penggunaan dasar dan berhasil mengintegrasikan AI secara mendalam ke dalam proses pembelajaran. Dalam hal ini, Urmeneta & Romero (2024) juga menegaskan pentingnya integrasi AI untuk tujuan pedagogis yang inovatif, sejalan dengan temuan observasi ini. Sebagai ilustrasi, di kelas sejarah, siswa memanfaatkan alat AI untuk menganalisis pola-pola dalam dokumen sejarah yang besar, sehingga mereka dapat menemukan koneksi dan tema tersembunyi proses yang secara manual memerlukan waktu sangat lama. Sementara itu, di kelas seni, AI digunakan untuk menghasilkan variasi visual dari ide-ide siswa, sehingga memungkinkan eksplorasi konsep artistik yang lebih mendalam tanpa terbatas oleh keterampilan teknis dasar. Data observasi ini menegaskan bahwa integrasi AI di sekolah unggulan telah melampaui penggunaan konvensional, menjadi alat yang efektif dalam memfasilitasi kreativitas, penemuan ilmiah, dan pemecahan masalah, sehingga memberikan keunggulan kompetitif nyata dibandingkan metode tradisional.

Dampak signifikan dari program ini jelas tampak pada meningkatnya kesadaran global di kalangan siswa, yang terlihat secara konkret melalui berbagai proyek yang menyoroti isu keberlanjutan. Banyak proyek yang diamati berfokus pada penanganan limbah plastik di lingkungan sekitar, konservasi air, hingga pengembangan model energi bersih. Sebagaimana

pandangan John (2025) menegaskan pentingnya pendidikan yang membekali siswa menjadi “warga negara global” yang bertanggung jawab dan etis prinsip yang sangat tercermin dalam inisiatif siswa tersebut. Para siswa tidak hanya mempelajari teori di kelas, melainkan juga mengaitkannya langsung dengan persoalan nyata di komunitas lokal maupun global. Dokumentasi menunjukkan keterlibatan aktif siswa dengan masyarakat, pelaksanaan survei, serta pengumpulan data yang mendukung proyek-proyek mereka. Hal ini membuktikan keberhasilan program dalam menanamkan rasa tanggung jawab sosial dan etis yang sangat penting bagi pembentukan karakter ilmiah secara komprehensif.

Selanjutnya, analisis data empiris tidak dapat dilepaskan dari konteks sosio-ekonomi sekolah-sekolah unggulan yang menjadi faktor pendukung utama. Henseke et al. (2021) dalam penelitiannya menemukan adanya korelasi erat antara pendapatan,kekayaan properti, dan akses ke sekolah swasta di Inggris. Temuan ini sangat relevan dalam konteks sekolah yang diteliti. Observasi menunjukkan bahwa ketersediaan sumber daya finansial yang sering kali berasal dari donasi orang tua atau dana institusi swasta memungkinkan tersedianya fasilitas modern seperti laboratorium lengkap, akses internet berkecepatan tinggi, dan perangkat teknologi terbaru. Akses terhadap sumber daya ini menjadi katalis yang mempercepat pelaksanaan program, serta memungkinkan siswa mengerjakan eksperimen dan proyek yang lebih ambisius dan inovatif dibandingkan dengan sekolah umum. Dengan demikian, ketersediaan sumber daya sangat memengaruhi kedalam dan kompleksitas proyek ilmiah siswa, yang pada akhirnya memperkuat pembentukan karakter ilmiah yang tangguh.

Lalu, wawancara mendalam dengan staf administrasi dan kepala sekolah memperjelas peran penting otonomi institusional, sejalan dengan temuan penelitian Bunnell (2022) yang menyoroti karakteristik sekolah internasional yang umumnya memiliki otonomi lebih besar. Para pimpinan sekolah secara konsisten melaporkan bahwa otonomi ini memberikan fleksibilitas untuk bereksperimen dengan kurikulum dan metode pengajaran tanpa terhalang regulasi birokratis dari pemerintah. Sebagai contoh, sekolah mampu dengan cepat mengadopsi modul pembelajaran kecerdasan buatan, mengalokasikan anggaran untuk peralatan robotik terbaru, serta mengadakan pelatihan intensif bagi guru untuk mendukung metodologi pembelajaran berbasis proyek. Fleksibilitas ini memungkinkan sekolah untuk berinvestasi pada pelatihan guru, merekrut pendidik berkualitas tinggi, serta mengalokasikan anggaran untuk sumber daya teknologi tanpa penundaan berarti. Otonomi institusional juga memungkinkan sekolah beradaptasi secara responsif terhadap perkembangan terkini di bidang pendidikan dan teknologi suatu respons yang sangat penting di era AI yang terus berkembang. Secara empiris, efektivitas program ini didukung oleh struktur institusional yang membuka ruang inovasi,

adaptasi, dan respons cepat terhadap tren pendidikan global, tanpa hambatan birokrasi yang berarti.

Efektivitas program ini tampak jelas melalui perubahan nyata dalam metode penilaian, seperti yang tercermin dalam data observasi kami. Guru-guru di sekolah unggulan telah beralih secara signifikan dari penilaian sumatif berbasis tes tulis menuju penilaian formatif yang lebih holistik dan terfokus pada proses. Kini, penilaian tidak lagi hanya mengukur hasil akhir; berbagai instrumen autentik digunakan, seperti portofolio digital yang mendokumentasikan seluruh tahapan proyek, presentasi interaktif, jurnal refleksi siswa, dan juga umpan balik dari rekan sebaya. Transformasi mendasar ini sejalan dengan temuan penelitian Grey & Morris (2024), yang menyoroti pentingnya mengevaluasi keterampilan abad ke-21 misalnya kreativitas, berpikir kritis, dan kolaborasi yang memang tidak dapat diukur secara memadai melalui tes konvensional berbasis hafalan. Dengan sistem penilaian yang lebih komprehensif ini, guru memperoleh pemahaman yang lebih akurat mengenai perkembangan karakter ilmiah siswa, dapat mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan mereka secara lebih spesifik, serta memberikan bimbingan yang lebih terarah untuk pertumbuhan berkelanjutan. Penilaian menjadi bagian integral dari proses pembelajaran, bukan sekadar alat penentu kelulusan, sehingga siswa terdorong untuk terus bereksperimen dan berinovasi tanpa takut gagal.

Dampak penting lainnya dari program ini adalah terbentuknya etika dan integritas ilmiah yang kuat di kalangan siswa. Melalui pendekatan pembelajaran berbasis proyek, siswa dihadapkan secara rutin pada dilema etis nyata, seperti pengambilan keputusan terkait validitas data, kejujuran dalam pelaporan hasil, serta upaya menghindari plagiarisme tantangan yang semakin relevan di era informasi saat ini. Guru berperan sebagai pembimbing etis yang tidak hanya menetapkan aturan, namun juga memfasilitasi diskusi mendalam mengenai pentingnya integritas. Proses ini menanamkan pemahaman bahwa karakter ilmiah tidak hanya berkaitan dengan kemampuan kognitif, tetapi juga tanggung jawab moral dan etis. Maka dari itu, siswa dipersiapkan untuk menjadi individu yang bertanggung jawab, jujur, dan beretika dalam berbagai aspek kehidupan, membentuk fondasi penting bagi calon pemimpin masa depan.

Keterlibatan orang tua juga menjadi indikator penting efektivitas program, seperti yang terungkap dalam wawancara dan observasi. Di sekolah-sekolah unggulan, peran orang tua tidak terbatas pada penyedia dana, melainkan sebagai mitra aktif dalam pendidikan anak. Mereka terlibat langsung dalam proyek siswa, memberikan dukungan dan bimbingan, serta turut hadir dalam presentasi proyek. Contohnya, terdapat kelompok orang tua yang secara sukarela menjadi mentor bagi siswa yang mengerjakan proyek penelitian energi terbarukan, memanfaatkan keahlian profesional mereka

sebagai insinyur atau ilmuwan untuk memberikan arahan teknis. Keterlibatan ini bahkan meluas hingga tingkat institusi, di mana orang tua menjadi bagian dari komite penasihat yang berkontribusi dalam perancangan kurikulum dan program ekstrakurikuler. Dukungan dari lingkungan keluarga ini memberikan dorongan tambahan bagi siswa untuk mengeksplorasi minat ilmiah mereka dan memperkuat proses penanaman karakter ilmiah. Kolaborasi antara sekolah, siswa, dan keluarga menciptakan ekosistem pembelajaran terintegrasi yang menjadi faktor kunci keberhasilan pendidikan.

Secara keseluruhan, data empiris dari wawancara dan observasi mengindikasikan bahwa program penanaman karakter ilmiah di sekolah unggulan sangat efektif. Efektivitas ini merupakan hasil sinergi dari berbagai faktor utama yang saling melengkapi. Otonomi institusi yang tinggi (Bunnell, 2022), ketersediaan sumber daya finansial dan fasilitas yang memadai (Henseke et al., 2021), rekrutmen pendidik berkualitas, penerapan kurikulum yang mendalam (Reimers, 2021), lingkungan sekolah yang kolaboratif (Solone et al., 2020), serta integrasi aplikasi AI secara kreatif (Urmenate & Romero, 2024). Kombinasi faktor-faktor tersebut tidak hanya menumbuhkan keterampilan abad ke-21 yang kompleks (Grey & Morris, 2024), tetapi juga menanamkan kesadaran global (John, 2025) dan etika ilmiah yang kuat. Sinergi ini menciptakan lingkungan sekolah di mana karakter ilmiah tidak hanya diajarkan, melainkan juga dihidupkan dan diperaktikkan secara konsisten terbukti melalui perubahan perilaku, pola pikir, dan etika siswa.

Analisis data empiris yang diperoleh jelas memperlihatkan adanya perubahan yang signifikan pada budaya sekolah-sekolah unggulan yang menjadi objek penelitian ini. Sekolah-sekolah tersebut kini tidak lagi sekadar berfungsi sebagai tempat transfer pengetahuan semata, melainkan telah bertransformasi menjadi pusat inovasi dan penemuan. Perubahan budaya ini tampak dari antusiasme siswa dan guru yang semakin tinggi dalam setiap proyek, diskusi kelas yang lebih dinamis dan partisipatif, serta semangat belajar dan bereksperimen yang terus tumbuh. Transformasi ini tidak sekadar implementasi sebuah program, melainkan telah menjadi metamorfosis institusional yang mengakar kuat. Temuan ini menegaskan bahwa program yang dirancang secara matang dan didukung ekosistem yang kondusif dapat membawa perubahan pada DNA institusional sekolah.

Pada akhirnya, hasil pelaksanaan program di sekolah unggulan ini memperkuat argumen bahwa reformasi pendidikan semestinya berfokus pada penanaman karakter serta keterampilan yang relevan dengan tuntutan abad ke-21. Meski program ini dilaksanakan di lingkungan yang ideal dengan dukungan sumber daya yang memadai, ia tetap memberikan cetak biru penting bagi institusi pendidikan lain agar dapat mengembangkan program serupa dengan penyesuaian sesuai konteks dan sumber daya masing-masing. Temuan ini juga menegaskan bahwa masa depan pendidikan yang berdaya saing adalah

masa depan yang menempatkan karakter ilmiah rasa ingin tahu, sikap kritis, kreativitas, dan kolaborasi sebagai inti proses pembelajaran. Dengan demikian, siswa dipersiapkan untuk menjadi pemimpin dan inovator masa depan. Data empiris yang terkumpul menjadi bukti kuat bahwa investasi dalam program penanaman karakter ilmiah yang komprehensif, khususnya di sekolah unggulan, memberikan dampak nyata dan berkelanjutan. Program ini tidak hanya meningkatkan capaian akademis, tetapi turut membentuk individu dengan karakter ingin tahu, kritis, kreatif, dan kolaboratif. Karenanya, temuan ini memberikan dasar argumentasi yang kuat bahwa reformasi pendidikan perlu difokuskan pada penanaman karakter dan keterampilan abad ke-21. Efektivitas program, walaupun dicapai dalam konteks ideal, tetap menjadi acuan penting bagi institusi pendidikan lain untuk mengembangkan program serupa dengan penyesuaian yang diperlukan. Hal ini menegaskan bahwa masa depan pendidikan yang unggul adalah masa depan yang menempatkan karakter ilmiah sebagai inti dari setiap proses pembelajaran.

## BAB VII

### TANTANGAN DAN KENDALA DALAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH

#### A. Identifikasi Tantangan di Era AI

Masuk ke era kecerdasan buatan (AI), pendidikan global dihadapkan pada situasi paradoks: di satu sisi membuka pintu inovasi, namun di sisi lain memunculkan tantangan serius dalam penanaman karakter ilmiah pada peserta didik, khususnya di tingkat sekolah. Karakter ilmiah tidak hanya sekadar hasil kecakapan kognitif, melainkan juga mencakup nilai dan sikap seperti rasa ingin tahu yang aktif, kemampuan berpikir kritis terhadap informasi, kejujuran intelektual, serta ketekunan dalam memahami fenomena. Tantangan utama saat ini adalah tereduksinya proses pembelajaran ilmiah menjadi aktivitas konsumsi informasi digital yang pasif dan serba instan. Hal ini terjadi akibat kecenderungan siswa dan guru yang semakin mengandalkan teknologi AI untuk menjawab pertanyaan, menyusun laporan, atau menyelesaikan tugas akademik. Sebagaimana Stahl (2021) mengingatkan bahwa sistem AI sering kali beroperasi sebagai “*black box*” proses pengambilan keputusannya tidak transparan, sehingga pengguna sulit memahami secara mendalam bagaimana suatu jawaban atau rekomendasi dihasilkan. Dalam kondisi seperti ini, rasa ingin tahu sebagai inti karakter ilmiah perlahan tergeser oleh kepuasan instan atas hasil akhir yang disediakan mesin. Peserta didik tidak lagi merasa perlu melakukan pencarian, pengamatan, atau refleksi kritis karena AI telah menyediakan seluruh jawaban dengan efisien. Maka, meskipun AI menawarkan efisiensi dan personalisasi dalam pembelajaran, teknologi ini secara tidak langsung dapat melemahkan semangat ilmiah yang sejatinya menuntut usaha aktif dan pertanyaan terbuka terhadap realitas.

Perkembangan teknologi pendidikan berbasis AI, seperti *chatbot*, tutor virtual, atau sistem pembelajaran adaptif, kerap diapresiasi karena kemampuannya memperluas dan mempercepat akses terhadap berbagai pengetahuan. Akan tetapi, keberhasilan tersebut membawa konsekuensi terhadap kedalaman berpikir peserta didik. Dalam hal ini, Araya & Marber (2023) menunjukkan bahwa AI memang sangat efektif dalam distribusi pengetahuan, namun juga menimbulkan risiko besar menjauhkan siswa dari metode ilmiah yang sebenarnya. Pembelajaran berbasis AI cenderung memperkuat pola “*one-right-answer*”, yang tidak sejalan dengan logika ilmiah yang menekankan pada ketidakpastian, eksplorasi alternatif, serta keraguan metodologis. Ketika siswa terbiasa menerima jawaban siap pakai hasil algoritma, mereka kehilangan kesempatan untuk membangun hipotesis, menguji dugaan, atau memvalidasi data melalui proses empiris. Dalam

konteks ini, sekolah menjadi kurang efektif dalam membentuk nalar ilmiah karena siswa tidak terlatih mengalami proses belajar yang melibatkan kegagalan, kebingungan, dan perbaikan berkelanjutan tiga unsur kunci dalam perkembangan karakter ilmiah. Maka, walaupun AI mampu mempercepat proses belajar, tanpa prinsip pedagogis yang menekankan pentingnya proses, fondasi epistemologis pendidikan berpotensi terancam.

Salah satu aspek paling menonjol dari perubahan pembelajaran akibat AI adalah meningkatnya risiko plagiarisme dan menurunnya integritas akademik peserta didik. Dengan akses luas terhadap sistem AI generatif yang mampu menghasilkan esai, artikel, bahkan laporan penelitian hanya dalam hitungan detik, siswa tergoda untuk memanfaatkan teknologi ini sebagai jalan pintas dalam memenuhi tuntutan akademik, tanpa benar-benar terlibat dalam proses berpikir ilmiah. Grant & Wischik (2020) menyatakan bahwa AI menimbulkan dilema etis baru dalam pendidikan, sebab batas antara karya orisinal manusia dan hasil produksi mesin menjadi semakin kabur. Sekolah pun dihadapkan pada dilema: membatasi akses siswa ke teknologi demi menjaga keaslian karya, atau membiarkan mereka menggunakan AI dengan harapan dapat mengelolanya secara etis dan kritis. Namun, tanpa landasan karakter ilmiah yang kuat terutama kejujuran dan tanggung jawab terhadap pengetahuan penggunaan AI justru memperparah ketergantungan siswa pada sumber eksternal yang belum tentu mereka pahami. Persoalan ini bukan sekadar isu teknis atau regulasi, melainkan tantangan moral yang mengharuskan pendidikan untuk kembali menempatkan pembentukan karakter sebagai pondasi utama, bukan sekadar pencapaian akademik.

Salah satu problem utama yang muncul belakangan ini jelas pergeseran pola interaksi manusia dalam proses belajar-mengajar. Kalau kita tengok sejarah, pendidikan ilmiah itu tumbuh lewat diskusi, debat kritis, dan dialog yang benar-benar mendorong pemikiran substantif. Tapi sekarang, apalagi di era AI, pola-pola interaksi ini makin terpinggirkan interaksinya jadi satu arah: manusia nanya, mesin jawab. Seperti yang dicatat oleh Biele et al. (2022), interaksi digital yang berbasis AI memang jauh lebih cepat dan efisien, tapi dimensi diskursif serta intersubjektif inti pendidikan ilmiah itu sendiri justru makin tergerus. Ketika siswa lebih sering berinteraksi dengan sistem AI daripada dengan teman atau guru, kemampuan mereka untuk menyampaikan ide, mendengarkan argumen berbeda, dan mengembangkan toleransi terhadap perbedaan pendapat jadi rawan menurun. Padahal, karakter ilmiah butuh keterampilan sosial dan dialogis yang jelas tidak bisa diasah hanya lewat antarmuka teknologi. Kalau kondisi ini berlanjut, AI yang tidak dikontekstualisasi secara sosial malah berpotensi mengisolasi pelajar dari komunitas ilmiah tempat di mana ide dan nilai kolektif biasanya tumbuh.

Selain itu, muncul juga tantangan epistemologis baru di era pendidikan yang makin didominasi big data dan analisis prediktif. Pandangan von Braun

et al. (2021) menyoroti bahwa kurikulum dan asesmen yang dipersonalisasi dengan bantuan AI seringkali tidak memberi ruang bagi eksplorasi bebas atau *divergent thinking*, yang sebenarnya merupakan inti kreativitas ilmiah. Sistem AI cenderung mengandalkan pola perilaku siswa dari data masa lalu, lalu merekomendasikan jalur pembelajaran yang dianggap paling efisien atau relevan. Dalam praktiknya, hal ini seringkali menyeragamkan pola belajar dan hanya mengarahkan siswa pada hal-hal yang sudah diketahui, bukan pada kemungkinan baru yang belum dieksplorasi. Bila siswa terus diarahkan oleh algoritma, otonomi intelektual mereka untuk mengajukan pertanyaan orisinal dan melakukan eksplorasi tanpa tujuan pragmatis tertentu bisa makin tumpul. Tantangan utama bagi sekolah saat ini adalah memastikan AI tidak sepenuhnya mengatur arah belajar siswa, melainkan sekadar berperan sebagai fasilitator yang membuka ruang bagi berpikir ilmiah yang kritis dan bebas.

Di sisi lain, kehadiran AI dalam pendidikan juga menimbulkan situasi kompleks, khususnya terkait keterbatasan pemahaman teknologi di kalangan guru dan orang tua. Dalam hal ini, pandangan Niemi et al. (2023) menunjukkan bahwa banyak pendidik masih belum memahami secara utuh cara kerja AI dan dampaknya terhadap pola pikir dan perilaku belajar siswa. Hal ini memunculkan ketidaksiapan pedagogis dalam membimbing siswa agar memanfaatkan AI secara kritis dan bertanggung jawab. Dalam konteks ini, ketimpangan literasi digital menghasilkan dua kutub ekstrem. Ada guru yang terlalu permisif karena tidak paham potensi destruktif AI, dan ada pula yang terlalu represif karena takut kehilangan otoritas sebagai pengajar. Keduanya tidak ideal untuk membentuk karakter ilmiah yang membutuhkan pembimbing aktif, kritis, sekaligus melek teknologi. Tanpa kehadiran guru yang paham etika, batas, dan potensi AI, siswa berisiko menjadikan teknologi sebagai satu-satunya sumber pengetahuan, sehingga mengabaikan proses berpikir, verifikasi, dan refleksi kritis. Padahal, dalam proses pembelajaran ilmiah, pembentukan sikap jauh lebih penting daripada sekadar mengejar hasil akhir. Dengan demikian, kesenjangan kompetensi antara teknologi dan pedagogi menjadi tantangan nyata yang memang harus diatasi secara struktural dalam sistem pendidikan kita saat ini.

Di luar tantangan teknopedagogis, faktor sosiokultural yang melingkupi siswa tetap sangat berperan dalam keberhasilan penanaman karakter ilmiah di era AI. Dalam lingkungan sosial digital yang semakin kompetitif, siswa ter dorong mengejar hasil akademik secara cepat, instan, dan pragmatis sering kali mengabaikan nilai-nilai seperti ketekunan, skeptisme metodologis, dan kejujuran intelektual. Kompleksitas bertambah dengan hadirnya sistem AI yang bukan sekadar sumber informasi, melainkan juga mulai berfungsi sebagai otoritas pengetahuan yang kurang menghadirkan dimensi manusiawi. Sebagaimana Klimczak & Petersen (2023) mencatat bahwa ketika AI diakui sebagai otoritas epistemik, peran guru manusia sebagai panutan pun bergeser

kepada sistem otomatis. Dampaknya signifikan, sebab dalam tradisi pendidikan ilmiah, guru tidak hanya bertindak sebagai penyampai materi, tetapi juga sebagai teladan nilai-nilai ilmiah yang ditanamkan melalui dialog, contoh konkret, dan empati. Jika relasi antarmanusia dalam proses belajar digantikan oleh interaksi dengan mesin, karakter ilmiah yang reflektif, terbuka, dan berakar pada nilai sosial cenderung mengalami kemunduran. Oleh karena itu, sistem pendidikan perlu mengembalikan posisi guru sebagai pembimbing nilai, bukan sekadar pengawas teknis pembelajaran berbasis AI.

Tantangan lain muncul dalam bentuk ilusi kompetensi akibat interaksi yang rutin dengan sistem AI generatif. Siswa yang terbiasa menggunakan AI untuk menyusun jawaban atau memahami konsep sering merasa telah menguasai materi, padahal kerap hanya mengulangi atau memanipulasi informasi dari mesin. Guarcello & Longo (2024) menyebut fenomena ini sebagai simulasi pemahaman sebuah kondisi di mana siswa meniru proses berpikir tanpa sungguh-sungguh menginternalisasi. Motivasi belajar pun bermeser dari pencarian makna menuju sekadar pencapaian nilai atau penyelesaian tugas. Akibatnya, aspek penting karakter ilmiah seperti rasa ingin tahu orisinal, motivasi intrinsik terhadap sains, dan kemampuan mengajukan pertanyaan kritis menjadi kurang berkembang. Ketika AI hadir sebagai penyedia jawaban, urgensi untuk bertanya, menyelidiki, atau bereksperimen berkurang, padahal proses-proses inilah inti pendidikan ilmiah. Maka, tugas pendidikan tidak hanya mengajarkan penggunaan AI, melainkan juga membentuk kesadaran bahwa memahami ilmu adalah proses berpikir yang reflektif, mendalam, dan memerlukan ketekunan.

Di balik kemudahan AI dalam menyederhanakan akses informasi, terdapat persoalan penting terkait pembatasan ruang berpikir kritis. Sistem AI yang dibangun berdasarkan data historis dan pola statistik cenderung mempertahankan status quo pengetahuan, bukan memicu munculnya gagasan baru. Urmenate & Romero (2024) menekankan bahwa AI hingga saat ini cenderung bersifat reproduktif, bukan inovatif. Jika pelajar terlalu bergantung pada AI untuk menyusun gagasan atau solusi, mereka kehilangan kesempatan berlatih berpikir kreatif, yang merupakan prasyarat munculnya karakter ilmiah. Padahal, sejarah sains selalu didorong oleh keberanian berpikir berbeda, mempertanyakan otoritas, dan membongkar teori lama melalui pendekatan baru. Jika pendidikan hanya mengikuti rekomendasi AI yang mengutamakan efisiensi, maka akan terbentuk generasi yang mampu menjawab soal tetapi minim inovasi dan keberanian berpikir. Karenanya, sekolah perlu menyediakan ruang dalam kurikulum yang memungkinkan siswa menyimpang dari pola, mengambil risiko intelektual, dan membangun ide-ide baru secara bebas, meskipun tidak selalu sesuai dengan prediksi algoritma. Kesimpulannya, AI hanya merupakan alat. Pembentukan karakter

ilmiah tetap bergantung pada manusia, dan hal tersebut tidak dapat sepenuhnya digantikan oleh mesin.

Meskipun AI menawarkan kemudahan akses pengetahuan, kehadirannya membawa tantangan yang cukup kompleks di ranah pendidikan, khususnya terkait kebebasan intelektual dan etika informasi. Faktanya, siswa sekarang berhadapan dengan persoalan nyata dalam memilah informasi yang valid versus manipulatif. Dalam hal ini, Araya & Marber (2023) menggarisbawahi bahwa sistem AI dikembangkan dengan mengambil data dalam jumlah besar yang belum tentu melewati proses seleksi ketat. Akibatnya, informasi yang dihasilkan kerap mengandung bias, misinformasi, bahkan disinformasi. Tanpa kemampuan literasi informasi yang memadai, siswa rentan menerima data tersebut secara pasif, tanpa proses seleksi kritis ataupun mempertanyakan keabsahannya. Kondisi ini sangat berisiko bagi pembentukan karakter ilmiah, sebab inti dari tradisi keilmuan justru terletak pada kemampuan meragukan, mengkritisi, dan memverifikasi klaim berdasarkan logika serta bukti empiris. Ketika siswa menerima hasil keluaran AI tanpa mengevaluasi sumber, konteks, dan validitasnya, mereka telah menyimpang dari prinsip-prinsip keilmuan secara epistemologis. Situasi ini menegaskan pentingnya pendidikan dalam menanamkan keterampilan berpikir kritis, skeptisme yang konstruktif, serta keberanian intelektual menolak informasi yang tidak sesuai dengan prinsip ilmiah. Dengan demikian, tantangan utama AI dalam pendidikan tidak hanya terletak pada aspek teknologinya, tetapi juga pada kesiapan sistem pendidikan membekali siswa dengan perangkat etis dan metodologis agar mampu menyaring kebenaran di tengah arus informasi digital yang deras.

Sementara itu, kehadiran AI juga memperumit aspek evaluasi dalam proses pembelajaran, khususnya dalam mengukur perkembangan karakter ilmiah peserta didik. Penilaian konvensional yang berfokus pada produk akhir, seperti nilai ujian atau tugas, kini mulai tergeser oleh pemanfaatan AI yang mampu menghasilkan karya akademik secara otomatis. Dalam konteks ini, guru semakin sulit membedakan antara hasil kerja orisinal siswa dan konten buatan AI. Stahl (2021) menyoroti bahwa pendekatan penilaian perlu berfokus pada proses berpikir, argumentasi, serta kemampuan reflektif siswa, bukan hanya pada produk akhirnya. Akan tetapi, sistem pendidikan saat ini belum sepenuhnya siap untuk merancang asesmen yang dapat mengukur aspek-aspek tersebut secara komprehensif. Bahkan, AI sendiri belum cukup mampu mengidentifikasi ekspresi karakter ilmiah secara kualitatif, seperti kejuran, ketekunan, dan kemampuan berargumentasi logis. Jika sistem pendidikan gagal menyesuaikan mekanisme evaluasi dengan tantangan yang dihadirkan AI, siswa cenderung terdorong memilih cara instan ketimbang menempuh proses pembelajaran ilmiah yang otentik dan bermakna. Dengan kata lain, AI berpotensi mengubah tidak hanya cara belajar, tetapi juga cara menilai, dan

jika tidak dikelola dengan baik dapat menjauhkan siswa dari esensi pembelajaran ilmiah.

Ketimpangan akses terhadap teknologi AI juga memperdalam kesenjangan pendidikan, baik antarwilayah maupun antarindividu. Meskipun terdapat upaya integrasi AI dalam pembelajaran di berbagai sekolah, realitasnya tidak semua siswa memiliki kesempatan yang sama untuk mengakses dan memanfaatkan teknologi ini secara optimal. Dalam hal ini, Niemi et al. (2023) menunjukkan bahwa perbedaan infrastruktur digital, kapasitas jaringan internet, serta tingkat literasi teknologi antara sekolah di perkotaan dan perdesaan menciptakan disparitas dalam pengembangan karakter ilmiah siswa di era digital. Siswa di wilayah dengan keterbatasan teknologi tidak memperoleh pengalaman eksplorasi digital yang memadai, sementara siswa di lingkungan yang sangat terdigitalisasi justru berisiko menjadi terlalu bergantung pada teknologi tanpa pendampingan etis dan pedagogis yang memadai. Maka dari itu, alih-alih menjadi alat pemerataan, AI berpotensi memperlebar jurang ketidakadilan pendidikan. Tantangan utama dalam pembentukan karakter ilmiah melalui AI terletak pada kemampuan sistem pendidikan menciptakan distribusi teknologi yang adil, inklusif, dan disertai penguatan literasi kritis, agar seluruh siswa, tanpa memandang latar belakang sosial dan geografis, dapat berkembang sebagai subjek ilmiah yang reflektif, rasional, dan bertanggung jawab.

Di tengah kemudahan yang ditawarkan AI untuk mengakses pengetahuan, muncul pula persoalan rumit dalam dunia pendidikan, terutama soal kebebasan intelektual dan etika informasi. Tak bisa dipungkiri, para siswa saat ini menghadapi tantangan besar dalam memilih mana informasi yang valid dan mana yang manipulatif. Seperti yang disampaikan oleh Araya & Marber (2023), sistem AI memang dibangun dengan memanfaatkan data dalam jumlah besar yang tidak selalu melalui proses penyaringan ketat. Konsekuensinya, informasi yang dihasilkan rentan mengandung bias, misinformasi, bahkan disinformasi. Jika siswa belum memiliki kemampuan literasi informasi yang memadai, mereka berisiko menerima begitu saja data tersebut tanpa proses penalaran kritis, apalagi mempertanyakannya. Ini cukup berbahaya untuk perkembangan karakter ilmiah, sebab esensi tradisi ilmiah justru terletak pada kemampuan untuk meragukan, mengkritisi, dan memverifikasi informasi berdasarkan logika dan bukti empiris. Ketika siswa menerima hasil keluaran AI sebagai kebenaran mutlak tanpa menguji sumber, konteks, dan validitasnya, secara epistemologis mereka telah menyimpang dari prinsip-prinsip keilmuan. Kondisi ini menegaskan urgensi pendidikan dalam menanamkan keterampilan berpikir kritis, skeptisme konstruktif, dan keberanian intelektual menolak informasi yang tidak sesuai dengan prinsip ilmiah. Singkatnya, tantangan utama AI di bidang pendidikan tidak hanya pada aspek teknologinya, tetapi juga pada kesiapan sistem pendidikan

membekali siswa dengan perangkat etis dan metodologis agar mampu menyaring kebenaran di tengah derasnya arus informasi digital.

Selain itu, kehadiran AI juga menambah kompleksitas aspek evaluasi dalam proses pembelajaran, khususnya dalam mengukur perkembangan karakter ilmiah siswa. Penilaian tradisional yang sebelumnya berfokus pada produk akhir, seperti nilai ujian atau tugas, kini mulai digeser oleh pemanfaatan AI yang mampu menghasilkan karya akademik secara instan. Dalam situasi ini, guru semakin sulit membedakan antara hasil kerja orisinal siswa dan konten buatan mesin. Sebagaimana dalam hal ini Stahl (2021) menyoroti bahwa sistem pendidikan perlu mengadopsi pendekatan penilaian yang lebih menitikberatkan pada proses berpikir, argumentasi, serta kemampuan reflektif siswa, bukan semata-mata pada produk akhir. Namun demikian, tantangan tetap ada, sebab sistem pendidikan kita belum sepenuhnya siap merancang asesmen yang mampu mengukur aspek-aspek tersebut secara komprehensif. AI sendiri pun belum cukup mumpuni untuk mengidentifikasi ekspresi karakter ilmiah secara kualitatif, seperti ketekunan, kejujuran, atau kemampuan berargumen secara logis. Apabila sistem pendidikan gagal menyesuaikan mekanisme evaluasi dengan tantangan AI, siswa cenderung ter dorong mencari jalan pintas dibandingkan menjalani proses pembelajaran ilmiah yang otentik dan bermakna. Dengan kata lain, AI berpotensi mengubah tidak hanya cara belajar, tetapi juga mekanisme penilaian, yang jika tidak dikelola dengan cermat dapat menjauhkan siswa dari esensi pembelajaran ilmiah.

Ketimpangan akses terhadap teknologi AI pun memperdalam kesenjangan pendidikan antarwilayah maupun antarindividu. Meskipun ada inisiatif untuk mengintegrasikan AI dalam proses pembelajaran di berbagai sekolah, faktanya tidak semua siswa memiliki peluang yang sama dalam mengakses dan memanfaatkan teknologi ini secara optimal. Dalam pandangannya, Niemi et al. (2023) menunjukkan bahwa perbedaan infrastruktur digital, kapasitas internet, dan tingkat literasi teknologi antara sekolah perkotaan dan perdesaan menciptakan disparitas dalam pengembangan karakter ilmiah siswa. Siswa di wilayah dengan keterbatasan teknologi tidak memperoleh pengalaman eksplorasi digital yang memadai, sementara mereka yang berada di lingkungan sangat terdigitalisasi justru berisiko menjadi terlalu bergantung pada teknologi tanpa pendampingan etis dan pedagogis yang cukup. Secara eksplisit, alih-alih menjadi alat pemerataan, AI justru berpotensi memperlebar jurang ketidakadilan pendidikan. Maka, tantangan utama dalam pembentukan karakter ilmiah melalui AI terletak pada kemampuan sistem pendidikan menciptakan distribusi teknologi yang adil, inklusif, dan didukung penguatan literasi kritis, agar seluruh siswa tanpa memandang latar belakang sosial dan geografis dapat berkembang sebagai subjek ilmiah yang reflektif, rasional, dan bertanggung jawab.

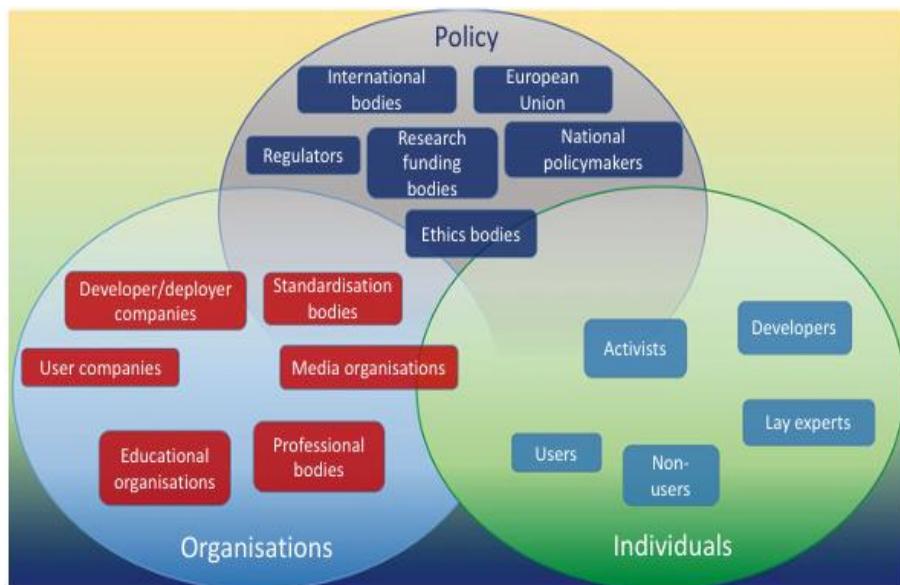
## B. Solusi dan Strategi Mengatasi Kendala

Keterbatasan sumber daya teknologi masih menjadi kendala utama dalam pembentukan karakter ilmiah di era kecerdasan buatan, terutama di lingkungan pendidikan yang infrastrukturnya belum memadai. Fasilitas dasar seperti perangkat keras, akses internet yang stabil, serta tenaga pendidik yang menguasai teknologi memang belum tersebar secara merata, khususnya di wilayah tertinggal. Akibatnya, banyak siswa mengalami kesulitan dalam mengakses pembelajaran digital, sehingga proses internalisasi sikap ilmiah yang idealnya membutuhkan interaksi langsung dengan teknologi menjadi terhambat. Seperti yang dicatat Araya & Marber (2023), kesenjangan infrastruktur ini merupakan akar ketidaksetaraan digital yang justru memperlebar jurang kualitas pembelajaran antarwilayah, keterasingan digital memperkuat ketidaksetaraan sosial yang sudah ada dan mengucilkan mereka yang tidak memiliki infrastruktur yang memadai. Langkah strategis yang perlu diambil adalah mendorong kebijakan investasi teknologi pendidikan secara nasional, tidak hanya dalam hal pengadaan perangkat, tetapi juga mencakup perawatan sistem dan penguatan infrastruktur pendukung seperti listrik dan jaringan. Lalu, Stahl (2021) juga menekankan bahwa pengembangan ekosistem etis AI di bidang pendidikan hanya dapat terwujud apabila seluruh peserta didik memiliki kesempatan yang setara untuk mengakses teknologi prasyarat utama bagi keadilan pendidikan berbasis AI.

Dalam mengatasi kendala sumber daya teknologi, strategi pembiayaan yang inklusif dan kolaboratif menjadi sangat penting dengan melibatkan berbagai aktor pendidikan. Pemerintah pusat dan daerah perlu mengatur mekanisme anggaran khusus yang dialokasikan secara adil bagi institusi pendidikan yang masih kekurangan infrastruktur. Namun, strategi ini tidak akan optimal jika hanya mengandalkan dana negara. Kolaborasi lintas sektor dengan dunia industri, perusahaan teknologi, serta organisasi non-pemerintah diperlukan untuk menciptakan ekosistem pendukung yang berkelanjutan. Niemi et al. (2023) menyatakan bahwa pendekatan ekosistem dapat menjembatani kesenjangan digital dengan mendorong tanggung jawab bersama di antara para pemangku kepentingan untuk memastikan integrasi AI yang inklusif. Skema *Corporate Social Responsibility* (CSR) dari perusahaan teknologi dapat diarahkan untuk mendukung pengadaan perangkat belajar dan pelatihan guru di daerah tertinggal. Selain itu, kebijakan fiskal yang memberikan insentif pajak bagi perusahaan yang terlibat dalam pengembangan pendidikan berbasis teknologi juga dapat menjadi langkah strategis. Dalam hal ini, von Braun et al. (2021) menekankan bahwa sinergi lintas sektor merupakan syarat penting dalam membangun sistem pendidikan yang berkelanjutan dan mampu beradaptasi dengan revolusi teknologi tanpa

meninggalkan kelompok marginal. Karenanya, investasi teknologi pendidikan harus dirancang tidak hanya berbasis *top-down*, melainkan juga memperkuat peran masyarakat sipil dan aktor swasta sebagai mitra aktif dalam transformasi pendidikan berbasis AI.

Gambar 4. Ikhtisar Pemangku Kepentingan dalam Penggunaan “AI”



Sumber: Stahl (2021)

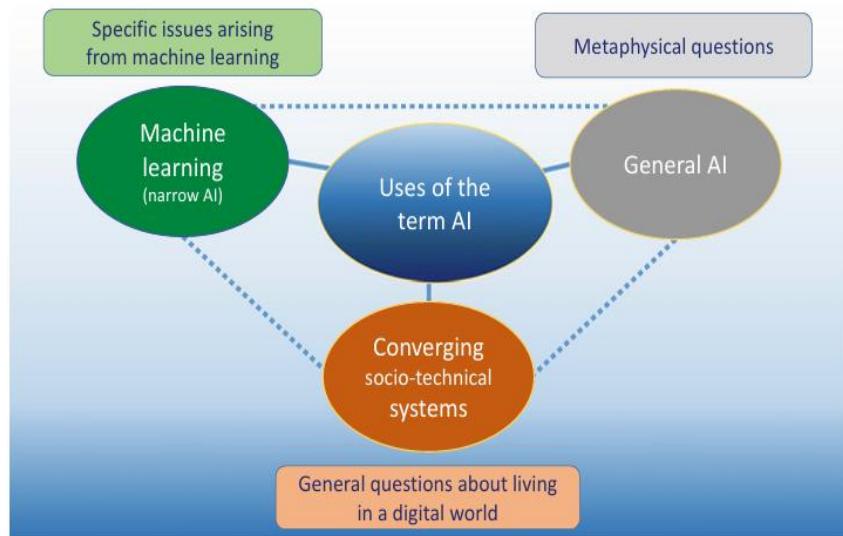
Ketimpangan akses terhadap teknologi digital tidak hanya memunculkan perbedaan dalam proses pembelajaran, tetapi juga berdampak langsung pada proses internalisasi karakter ilmiah peserta didik. Sementara sebagian siswa dapat dengan mudah mengakses sumber daya digital seperti laboratorium virtual, mesin pencari ilmiah, dan simulasi AI, sebagian lain justru kesulitan memperoleh bahan ajar dasar. Perbedaan ini memperkuat kesenjangan dalam penguasaan keterampilan berpikir kritis, literasi digital, dan etika teknologi yang merupakan bagian esensial dari karakter ilmiah masa kini. Sebagaimana Urmeneta & Romero (2024) mencatat bahwa ketidaksetaraan akses teknologi berdampak pada perkembangan kognitif yang tidak seimbang dan keterasingan digital di antara siswa dari latar belakang sosial ekonomi yang berbeda. Dalam konteks ini, solusi yang relevan adalah penerapan model pembelajaran berbasis sumber daya lokal dengan pendekatan teknologi rendah (low-tech) yang adaptif terhadap kondisi sosial ekonomi peserta didik. Selain itu, Guarcello & Longo (2024) menegaskan pentingnya kreativitas pendidik dalam menyusun materi ajar yang tetap berorientasi pada pemikiran ilmiah, meskipun tidak bergantung pada

perangkat teknologi tinggi. Upaya semacam ini dapat membantu menembatani jurang ketimpangan digital sekaligus memperkuat nilai-nilai ilmiah melalui metode pembelajaran yang kontekstual dan partisipatif.

Menanggapi tantangan disparitas teknologi, pengembangan modul ajar yang fleksibel dan berbasis teknologi terapan sederhana tetap menjadi strategi utama yang sangat relevan. Pendekatan modular ini memungkinkan diferensiasi pembelajaran yang dapat disesuaikan dengan akses dan kemampuan siswa, sehingga internalisasi karakter ilmiah dapat berjalan tanpa ketergantungan pada perangkat digital yang canggih. Modul-modul tersebut dapat memuat latihan observasi, pencatatan manual, eksperimen sederhana, hingga kajian literatur lokal. Secara pedagogis, pendekatan ini tetap efektif untuk menanamkan sikap ilmiah seperti ketelitian, objektivitas, dan rasa ingin tahu. Dalam pandangannya, Biele et al. (2022) menegaskan bahwa penggunaan teknologi sederhana seperti perangkat seluler, *media audio-visual offline*, maupun pengolahan data manual masih mampu mendukung penalaran ilmiah terstruktur dan pembelajaran kolaboratif dalam konteks sumber daya rendah. Ini menunjukkan bahwa solusi tersebut bukan sekadar alternatif, melainkan upaya nyata untuk menciptakan ruang belajar yang inklusif bagi pengembangan kompetensi ilmiah, terlepas dari kondisi sosial-ekonomi siswa. Dukungan berupa pelatihan guru dalam menyusun konten ajar yang adaptif dan kreatif, serta sistem evaluasi yang menekankan proses berpikir, tetap sangat diperlukan. Transformasi pendidikan sebaiknya bersifat kontekstual dan menyesuaikan kebutuhan nyata peserta didik, bukan seragam semata.

Penguatan literasi digital juga menjadi langkah strategis, tidak hanya sebagai respons terhadap tantangan disparitas teknologi, tetapi juga dalam membangun fondasi karakter ilmiah yang kokoh. Literasi digital tidak sekadar berkaitan dengan keahlian teknis dalam mengoperasikan perangkat, melainkan juga mencakup kemampuan kritis dalam memilah informasi digital, menilai kredibilitas sumber, dan kesadaran etis ketika berinteraksi dengan AI. Klimczak & Petersen (2023) menuliskan bahwa literasi digital yang kuat adalah prasyarat untuk keterlibatan yang bertanggung jawab dan reflektif dengan teknologi AI dalam konteks pendidikan. Maka dari itu, kurikulum pendidikan sebaiknya mereposisi literasi digital sebagai bagian inti dalam pembentukan karakter ilmiah. Implementasinya dapat dilakukan secara bertahap, mulai dari pengenalan struktur informasi ilmiah, eksplorasi data digital secara kolaboratif, hingga diskusi mengenai etika AI dalam kehidupan sehari-hari. Literasi digital yang baik akan melatih siswa menjadi agen kritis yang tidak hanya pengguna tetapi juga evaluator pengetahuan yang dihasilkan mesin (Grant & Wischik, 2020). Dengan demikian, strategi ini tidak hanya mempersiapkan siswa menghadapi era digital, tetapi juga membentuk mereka menjadi subjek aktif yang bertanggung jawab secara etis dan sosial dalam pengembangan ilmu pengetahuan.

Gambar 5. Konsep Penggunaan “AI”



Sumber: Stahl (2021)

Resistensi guru terhadap transformasi pembelajaran berbasis AI merupakan aspek yang tidak dapat diabaikan dalam proses penanaman karakter ilmiah. Masih banyak pendidik yang merasa canggung, kurang percaya diri, bahkan khawatir terhadap penggunaan teknologi cerdas dalam pembelajaran. Kekhawatiran tersebut mencakup kecemasan akan tergantikannya peran guru oleh AI maupun ketidakpastian terhadap nilai pedagogis teknologi tersebut. Dalam hal ini, Stahl (2021) menunjukkan bahwa salah satu bentuk resistensi adalah penolakan etis yang berakar pada kurangnya agensi atas sistem algoritmik dan ketidakpastian pedagogis. Kiranya, strategi yang relevan adalah pelatihan pedagogik berbasis teknologi humanistik, di mana AI diposisikan sebagai mitra kerja, bukan sekadar pengganti. Dengan pendekatan ini, guru dapat memahami bagaimana AI mendukung praktik reflektif, penyesuaian instruksional, dan penguatan karakter ilmiah siswa. Demikian pula, Araya & Marber (2023) dalam pandangannya menyatakan bahwa integrasi AI harus membingkai guru sebagai perancang yang berdaya dalam perjalanan pembelajaran digital, bukan sebagai pelaksana pasif logika mesin. Pembekalan serta pelibatan aktif guru dalam desain pembelajaran digital menjadi kunci untuk mengurangi resistensi dan membangun penerimaan yang konstruktif.

Permasalahan dalam transformasi pembelajaran berbasis karakter ilmiah memang sangat nyata di tingkat institusi pendidikan. Banyak sekolah masih terperangkap dalam kurikulum yang kaku dan belum mampu menyesuaikan

diri dengan perkembangan zaman. Sistem penilaian yang masih mengandalkan hafalan dan hasil ujian standar terus-menerus dijadikan andalan, padahal pendekatan ini justru bertentangan dengan karakter ilmiah yang menekankan eksplorasi, kolaborasi, serta skeptisisme metodologis. Pandangan Niemi et al. (2023) menegaskan bahwa institusi pendidikan seharusnya bertransformasi menjadi sistem adaptif yang mempromosikan pembelajaran berbasis penyelidikan dan penalaran etis yang selaras dengan proses pengetahuan yang ditingkatkan AI. Salah satu langkah strategis yaitu mereformulasi kurikulum agar lebih fleksibel dan transdisipliner, misalnya dengan mengintegrasikan modul pembelajaran berbasis proyek, pemecahan masalah, dan simulasi berbasis data. Selain itu, budaya sekolah juga perlu diarahkan untuk lebih menghargai proses dan rasa ingin tahu ilmiah, bukan hanya fokus pada angka rapor. Transformasi ini jelas memerlukan peran kepemimpinan sekolah yang visioner yakni pemimpin yang mendorong inovasi serta mampu menciptakan ruang aman untuk eksperimen pendidikan. Bahkan, menurut von Braun et al. (2021), kepemimpinan pendidikan perlu bertindak sebagai katalisator perubahan epistemik dengan menyelaraskan kembali tujuan kelembagaan dengan inovasi etis, termasuk dalam implementasi AI guna memperkuat karakter ilmiah siswa.

Resistensi terhadap pembelajaran berbasis AI dan penguatan karakter ilmiah tidak hanya muncul dari tenaga pendidik atau institusi pendidikan, melainkan juga dari peserta didik. Pola belajar yang selama ini sangat menekankan jawaban tunggal, kecepatan mengerjakan soal, dan kompetisi nilai justru melahirkan sikap pasif serta pragmatis. Padahal, karakter ilmiah menuntut proses berpikir yang terbuka, reflektif, dan siap menghadapi ambiguitas. Dalam hal ini, Klimczak & Petersen (2023) menunjukkan bahwa salah satu tantangan mendasar adalah siswa memerlukan pembiasaan epistemik terhadap kepastian dan pemikiran linear, yang digangu oleh AI melalui penalaran probabilistik dan eksplorasi terbuka. Karenanya, strategi yang perlu dikembangkan adalah paradigma belajar yang menekankan proses eksploratif, seperti melalui metode Socratic questioning, dialog terbuka, dan simulasi interaktif. Peserta didik perlu dibiasakan untuk berpikir analitis, memverifikasi data, dan mempertimbangkan aspek etis dalam setiap penggunaan informasi. Pembelajaran karakter ilmiah pada era AI harus diarahkan pada keterlibatan epistemologis aktif, di mana siswa mempertanyakan, menafsirkan ulang, dan menegosiasi makna di luar keluaran mesin (Grant & Wischik, 2020). Maka, transformasi paradigma belajar menjadi sangat penting agar peserta didik tidak terjebak dalam ketergantungan teknologi, melainkan tetap menjadi subjek berpikir yang aktif dan reflektif.

Salah satu solusi strategis dalam mengatasi resistensi terhadap pembelajaran berbasis AI adalah dengan mengarusutamakan pendidikan etika

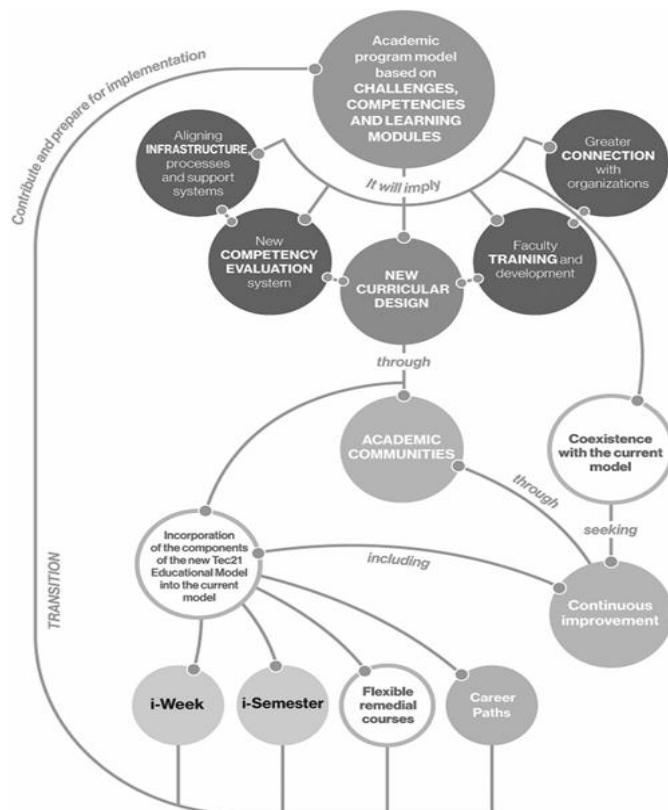
teknologi dalam proses pembelajaran. Etika tidak dapat dipandang sebagai pelengkap, melainkan merupakan inti penguatan karakter ilmiah. Tanpa integrasi nilai-nilai etis, pemanfaatan AI dalam pendidikan justru berpotensi menjadi alat dominasi algoritmik dan manipulasi informasi. Sebagaimana dalam hal ini Biele et al. (2022) menegaskan bahwa menanamkan penalaran etis ke dalam pendidikan AI bukanlah hal yang opsional, namun diperlukan untuk memastikan kewarganegaraan yang bertanggung jawab dalam masyarakat algoritmik. Pendidikan etika dapat diintegrasikan melalui studi kasus, refleksi kritis, dan diskusi tentang dilema moral seputar teknologi, misalnya analisis bias dalam sistem rekomendasi, isu privasi data, serta keputusan otomatisasi. Melalui proses tersebut, karakter ilmiah dibangun dengan pemahaman bahwa ilmu pengetahuan, termasuk AI, selalu berkaitan dengan nilai dan tanggung jawab sosial. Lalu, Guarcello & Longo (2024) menekankan pentingnya pendekatan etika untuk mengembangkan imajinasi moral siswa bersamaan dengan rasa ingin tahu ilmiah. Hasilnya, integrasi etika dalam pembelajaran teknologi memperkuat daya kritis peserta didik dan mempersiapkan mereka menjadi individu berintegritas di tengah kompleksitas dunia digital.

Mendorong perubahan pendidikan yang lebih menyeluruh jelas memerlukan model pembelajaran yang tidak sekadar adaptif terhadap teknologi, tetapi juga mampu membentuk karakter ilmiah secara kolaboratif dan kontekstual. Salah satu pendekatan yang berkembang saat ini adalah *model AI-empowered inquiry learning*, yaitu pembelajaran berbasis penyelidikan ilmiah yang didukung kecerdasan buatan. Dalam model ini, siswa didorong untuk merumuskan masalah, merancang hipotesis, mencari data, dan menarik kesimpulan secara mandiri, dengan dukungan teknologi seperti chatbot ilmiah, visualisasi data, atau analisis teks otomatis. Seperti diungkapkan Niemi et al. (2023), pendekatan ini efektif karena mengintegrasikan alat AI untuk mendukung refleksi metakognitif siswa, memungkinkan keterlibatan epistemik yang lebih dalam. Peran guru pun beralih menjadi fasilitator alih-alih sekadar penyampai informasi, sementara siswa mengambil posisi utama dalam pembentukan pengetahuan. Penerapan model ini dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis, kerja sama, serta tanggung jawab etis dalam penelitian yang mereka lakukan. Akhirnya, AI tidak lagi hanya menjadi alat bantu pasif, tetapi juga medium aktif untuk menumbuhkan karakter ilmiah berbasis eksplorasi dan kolaborasi. Strategi ini melatih kewarganegaraan ilmiah di era digital (Grant & Wischik, 2020).

Tantangan dalam menanamkan karakter ilmiah di era AI memang membutuhkan pendekatan sistemik, bukan sekadar intervensi pada kurikulum atau pelatihan guru. Pendekatan sistemik berarti melihat pendidikan sebagai ekosistem yang saling terhubung antara kebijakan, institusi, aktor, teknologi, dan nilai-nilai masyarakat. Dalam hal ini, Araya & Marber (2023)

menekankan bahwa reformasi sistemik memerlukan keterkaitan antara praktik epistemik, kepemimpinan pendidikan, infrastruktur, dan harapan sosial. Karena itu, strategi pada tingkat nasional untuk transformasi pendidikan perlu melibatkan koordinasi antarkementerian, lembaga pelatihan guru, penyedia teknologi, serta komunitas pembelajar. Aspek regulatif juga tidak boleh diabaikan, seperti standardisasi pendidikan berbasis karakter ilmiah, pemberian insentif bagi inovasi pembelajaran berbasis AI, dan penguatan peran lembaga akreditasi dalam menilai kesiapan digital sekolah. Tanpa kerangka sistemik, solusi yang diambil cenderung bersifat sementara dan sulit direplikasi. von Braun et al. (2021) juga menyoroti pentingnya tata kelola multi-aktor untuk menyelaraskan inovasi dengan barang epistemik publik. Dengan kata lain, ekosistem pendidikan perlu secara kolektif mendukung dan menjaga keberlanjutan karakter ilmiah sebagai bagian dari kompetensi abad 21.

Gambar 6. Skema Strategi Implementasi Komunitas Akademik dalam Penanaman Karakter Ilmiah



Sumber: Araya & Marber (2023)

Selain pembaruan institusional, strategi penting lain dalam membangun karakter ilmiah di era AI adalah pemberdayaan komunitas belajar. Komunitas belajar baik kelompok guru, forum siswa, maupun organisasi masyarakat sipil dapat menjadi motor penggerak transformasi dari bawah (*bottom-up*). Komunitas ini mampu menciptakan ruang belajar kolaboratif yang lebih fleksibel, kontekstual, dan partisipatif, sesuatu yang sering kali tidak ditemukan dalam sistem sekolah formal. Biele et al. (2022) menyatakan bahwa komunitas pembelajar aktif memelihara agensi epistemik *peer-to-peer* dan penyelidikan kritis, di mana anggotanya saling menantang dan mengembangkan perspektif secara reflektif. Teknologi AI juga dapat dimanfaatkan untuk menghubungkan komunitas lintas daerah, berbagi praktik baik, serta mendukung literasi data dan diskusi ilmiah yang lebih luas. Bahkan di masyarakat marginal, komunitas belajar sering menjadi ruang resistensi terhadap ketimpangan akses teknologi formal. Dalam hal ini, Guarcello & Longo (2024) menulis bahwa ruang epistemik akar rumput merupakan kunci untuk melawan dominasi teknokratik dan mengembangkan praktik pengetahuan yang demokratis. Dengan mendukung komunitas pembelajar, transformasi karakter ilmiah tidak hanya menjadi agenda institusi formal, melainkan juga bagian dari gerakan sosial yang lebih luas.

Di tengah derasnya arus informasi dan semakin kompleksnya tantangan algoritmik, literasi data kini menjadi fondasi penting bagi pembentukan karakter ilmiah. Literasi data jelas melampaui sekadar kemampuan membaca grafik atau menggunakan spreadsheet; ia mencakup pemahaman sumber data, penafsiran statistik secara kritis, serta kesadaran terhadap bias algoritmik yang tersebunyi. Mengutip pemikiran Niemi et al. (2023), karakter ilmiah di era AI harus mencakup kesadaran kritis terhadap data dan kerendahan hati secara epistemik. Literasi data seyoginya diperkenalkan secara bertahap sejak pendidikan dasar, bukan hanya dengan pendekatan teknis, melainkan juga reflektif dan etis. Peserta didik perlu dibiasakan menganalisis informasi secara skeptis, mempertanyakan validitas sumber, serta mendiskusikan dampak sosial data yang diproduksi maupun dikonsumsi. Proyek-proyek sederhana berbasis data misalnya studi lingkungan sekitar atau analisis tren sosial dapat menjadi medium efektif untuk membangun karakter ilmiah sekaligus meningkatkan kecakapan literasi data. Kebajikan epistemik tidak diwariskan; harus dibangun secara sadar melalui pedagogi dialogis dan reflektif (Stahl, 2021). Dengan mananamkan kesadaran epistemik dan keterampilan data secara bersamaan, peserta didik tidak hanya menjadi pengguna AI, tetapi juga dapat mengambil keputusan yang rasional dan bertanggung jawab.

Media pendidikan baik platform digital, podcast, video edukasi, maupun aplikasi pembelajaran memiliki potensi signifikan dalam membentuk imajinasi ilmiah peserta didik dan menyebarluaskan nilai-nilai karakter ilmiah. Dalam era digital yang sangat visual dan multimodal, media berperan

sebagai sarana efektif untuk menyampaikan narasi ilmiah yang inspiratif. Pandangan Grant & Wischik (2020) menyatakan bahwa media pendidikan berkualitas dapat menstimulasi rasa ingin tahu epistemik dan menarasikan sains sebagai usaha manusia dengan pertaruhan etis. Oleh karena itu, strategi penguatan karakter ilmiah juga perlu melibatkan produksi dan distribusi konten pendidikan yang kritis, kontekstual, dan humanistik. Alih-alih hanya menyajikan fakta, media mampu mendorong peserta didik untuk bertanya, meragukan, dan mengeksplorasi. Konten yang mengisahkan sejarah penemuan ilmiah, dilema etis sains, atau eksperimen sehari-hari dapat memperkuat keterikatan emosional peserta didik terhadap dunia pengetahuan. Selain itu, media dapat menjadi alat reflektif, yang memungkinkan peserta didik tidak sekadar menerima informasi, tetapi juga berkontribusi dalam penciptaan konten. Dengan demikian, mereka mengalami proses ilmiah secara aktif dan imajinatif, memperkuat disposisi ilmiah yang kritis, terbuka, dan bertanggung jawab.

Sebagai penutup, strategi penguatan karakter ilmiah di era AI menuntut pendidikan masa depan untuk menegaskan kembali etos ilmiah sebagai inti pembelajaran. Etos ilmiah meliputi integritas, ketekunan, keterbukaan terhadap kritik, serta dorongan eksplorasi perlu menjadi arah utama pembentukan manusia pembelajar abad ke-21. AI hanyalah alat bantu, nilai-nilai tersebutlah yang menjadi fondasi karakter pembelajar sejati. Araya & Marber (2023) menegaskan, AI harus selaras dengan tujuan moral pendidikan, membangun rasa ingin tahu, tanggung jawab, dan pemahaman bersama. Maka, strategi apapun baik dari sisi kurikulum, teknologi, pelatihan, maupun komunitas harus berorientasi pada pembentukan manusia berpengetahuan dan berkarakter ilmiah. Pendidikan tidak bisa hanya berhenti pada penguasaan teknis, namun harus menyentuh aspek etik dan epistemologis dari pengetahuan. Dalam dunia yang semakin kompleks, penuh hoaks, serta manipulasi algoritmik, karakter ilmiah menjadi kompas moral dan intelektual yang tidak tergantikan. Niemi et al. (2023) juga menyatakan bahwa masa depan pendidikan terletak pada pembentukan ketahanan epistemik, keberanian untuk berpikir kritis, meragukan secara bijak, dan bertindak adil di dunia digital.

## BAB VIII

### DAMPAK PENANAMAN KARAKTER ILMIAH TERHADAP PRESTASI SISWA

#### A. Dampak pada Pencapaian Akademik dan Non-Akademik

Penanaman karakter ilmiah dalam pendidikan modern itu jelas jauh lebih luas daripada sekadar membentuk siswa yang mematuhi norma atau etika formal. Sebenarnya, ini strategi penting yang langsung berdampak pada prestasi akademik peserta didik. Karakter ilmiah sendiri mencakup, misalnya, rasa ingin tahu yang dalam, kejujuran intelektual, keterbukaan terhadap kritik, dan ketekunan dalam menghadapi masalah kompleks. Jika karakter-karakter ini dibangun secara konsisten lewat kurikulum dan praktik pengajaran yang reflektif, siswa tidak hanya menjalani proses pembelajaran secara pasif. Mereka juga menunjukkan perkembangan nyata dalam keterampilan berpikir kritis, analitis, dan reflektif. Dalam hal ini, Reimers (2020) menegaskan bahwa pendidikan yang mendorong siswa berpikir ilmiah dan reflektif sangat berpengaruh dalam membentuk kemampuan mereka untuk berkontribusi pada perbaikan dunia lewat kompetensi akademik yang terukur dan relevan dengan masalah nyata (Reimers, 2020). Hal ini memperlihatkan bahwa penguatan karakter ilmiah memang punya implikasi langsung terhadap pencapaian belajar yang bermakna, sebab siswa terbiasa menggunakan nalar dan riset sejak usia dini. Dalam pandangan yang lain, Edwards & Straker (2025) juga menyoroti pentingnya eksposur anak terhadap proses ilmiah di lingkungan digital sejak dini faktor ini terbukti membangun literasi kognitif yang lebih dalam dan berpengaruh pada performa akademik di masa depan. Jadi, di tengah pendidikan digital dan masyarakat yang makin terdigitalisasi, penguatan karakter ilmiah menjadi prasyarat penting untuk mendorong capaian akademik yang bukan hanya tinggi secara angka, tetapi juga bermakna secara substansi.

Dampak karakter ilmiah pada pencapaian akademik juga terlihat dari kemampuan siswa menghubungkan teori dan praktik, khususnya lewat pendekatan berbasis eksplorasi dan penalaran. Karakter ilmiah seperti skeptisme konstruktif dan evaluasi bukti mendorong siswa untuk tak sekadar menerima informasi secara pasif, tetapi aktif menguji serta mengontekstualisasikan pengetahuan dalam kehidupan nyata. Sebagaimana Alpaydin & Demirli (2022) menekankan bahwa pendidikan abad ke-21 seharusnya tidak hanya berfokus pada penguasaan materi, tetapi juga pada proses kognitif yang reflektif dan berbasis investigasi ilmiah proses ini melatih daya nalar siswa secara sistematis dan berkelanjutan. Dalam praktiknya, siswa dengan karakter ilmiah yang kuat cenderung tekun dalam menyelesaikan tugas

berbasis proyek, mengemukakan argumentasi logis, dan rajin merujuk pada sumber kredibel ketika menghadapi persoalan kompleks. Fakta ini membuktikan bahwa keberhasilan akademik kini lebih dipengaruhi konsistensi proses berpikir ilmiah yang terus dibangun, bukan sekadar hafalan atau kemampuan menjawab soal dengan benar. Laporan longitudinal oleh Guarcello & Longo (2024) memperkuat pandangan sebelumnya, ini menunjukkan bahwa siswa yang dibimbing untuk mengembangkan hubungan kritis dengan teknologi melalui pendekatan estetis dan ilmiah umumnya mengalami peningkatan literasi akademik serta pemahaman konseptual yang lebih dalam.

Sementara itu, penanaman karakter ilmiah juga sangat berpengaruh pada keterampilan metakognitif siswa, yang punya peran penting dalam pencapaian akademik tingkat lanjut. Metakognisi kemampuan untuk menyadari, mengontrol, dan mengevaluasi proses berpikir merupakan buah dari internalisasi karakter ilmiah seperti refleksi, evaluasi kritis, dan tanggung jawab terhadap proses belajar. Dalam konteks ini, Care et al. (2024) mencatat bahwa siswa yang memiliki pengalaman belajar yang mendorong refleksi diri dan strategi pembelajaran personal menunjukkan kemampuan lebih baik dalam merancang tujuan belajar dan mengevaluasi capaian sendiri. Karakter ilmiah mendorong siswa untuk memahami bukan hanya apa yang dipelajari, tetapi juga mengapa dan bagaimana mereka belajar sehingga pendidikan menjadi lebih bermakna dan terarah. Akhirnya, keberhasilan akademik tidak hanya bergantung pada metode pengajaran, tetapi juga kapasitas internal siswa dalam mengatur cara berpikir secara ilmiah.

Dampak penanaman karakter ilmiah sebenarnya tidak semata-mata terbatas pada ranah akademik, pengaruhnya juga merambah pada pencapaian non-akademik yang kerap luput dari perhatian dalam sistem pendidikan konvensional. Karakter seperti kemampuan berkolaborasi, empati terhadap perbedaan sudut pandang, keterampilan mendengarkan secara aktif, dan pengelolaan konflik secara etis merupakan bagian esensial dari karakter ilmiah yang memegang peranan penting dalam kehidupan sosial peserta didik. Secara tegas, Conti & Lenehan (2024) menegaskan bahwa pembelajaran di era pascadigital menuntut dimensi *lifewide learning*, yaitu kemampuan belajar sepanjang hayat di berbagai konteks sosial dan budaya. Pengembangan karakter ilmiah dalam dimensi sosial ini memungkinkan peserta didik tidak hanya unggul secara kognitif, tetapi juga tangguh dalam menghadapi kompleksitas dinamika sosial. Hal ini menjadi sangat relevan dalam konteks modern, di mana keberhasilan individu tidak lagi hanya diukur dari prestasi akademik, melainkan juga keterampilan sosial, komunikasi, dan kemampuan adaptif yang berakar pada karakter ilmiah yang kuat. Karenanya, pencapaian non-akademik seperti kemampuan kerja sama tim, kepemimpinan yang etis,

serta literasi teknologi yang bertanggung jawab, pada dasarnya merupakan buah dari penanaman karakter ilmiah yang terstruktur dan konsisten.

Lebih jauh, pengaruh positif penanaman karakter ilmiah terhadap pencapaian non-akademik dapat dilihat dari meningkatnya partisipasi aktif peserta didik dalam komunitas sekolah maupun masyarakat secara luas. Peserta didik yang terbiasa berpikir reflektif, bertindak berdasarkan bukti, serta menghargai keberagaman sudut pandang cenderung berperan sebagai agen perubahan sosial yang konstruktif. Dalam hal ini, Reimers (2020) juga menegaskan bahwa pendidikan yang berlandaskan nilai-nilai ilmiah dan kemanusiaan akan melahirkan warga global yang tidak hanya berpikir kritis, tetapi juga menunjukkan kepedulian terhadap isu-isu publik. Hal ini memperlihatkan bahwa karakter ilmiah mampu mendorong dampak jangka panjang dalam aspek sosial-politik peserta didik. Contohnya, peserta didik menjadi lebih percaya diri menyampaikan pendapat di forum publik sekolah, peduli terhadap isu lingkungan, atau berpartisipasi aktif dalam proyek komunitas berbasis data. Dalam konteks ini, pendidikan ilmiah melampaui sekadar proses di ruang kelas dan menjadi instrumen pembentukan karakter sosial yang transformatif. Edwards & Straker (2025) menambahkan, ketika anak-anak sejak dini dikenalkan pada pendekatan ilmiah yang kontekstual, mereka tumbuh sebagai individu yang lebih sadar akan tanggung jawab sosial di era digital yang semakin kompleks.

Penanaman karakter ilmiah yang konsisten dalam proses pendidikan juga memberikan kontribusi signifikan terhadap pencapaian akademik peserta didik, khususnya dalam pengembangan berpikir kritis, argumentasi berbasis bukti, dan pemecahan masalah secara metodologis. Karakter ilmiah seperti ketekunan, rasa ingin tahu, dan objektivitas memungkinkan peserta didik menghadapi tugas akademik dengan pendekatan yang sistematis dan reflektif. Ketika peserta didik didorong untuk bersikap kritis terhadap informasi, mereka tidak hanya menyerap materi, namun juga mampu mengevaluasi, membandingkan, dan merumuskan sintesis pengetahuan secara mandiri. Pandangan Reimers (2020) menyatakan bahwa pengembangan karakter akademik berbasis nilai-nilai ilmiah membentuk peserta didik menjadi individu yang tidak hanya cakap secara kognitif, tetapi juga mampu bertindak sesuai prinsip intelektual dan etika. Dalam hal ini, penilaian akademik bukan sekadar cerminan pemahaman materi, melainkan juga menunjukkan kemampuan berpikir tingkat tinggi yang dibangun melalui pembiasaan sikap ilmiah. Maka, institusi pendidikan perlu memahami bahwa keberhasilan akademik tidak terlepas dari pembangunan karakter ilmiah yang menyeluruh. Proses pembelajaran yang menempatkan peserta didik sebagai subjek aktif dalam pencarian pengetahuan dan refleksi kritis atas realitas memiliki potensi besar untuk meningkatkan kualitas hasil belajar (Alpaydin & Demirli, 2022). Singkatnya, karakter ilmiah tidak hanya menjadi pelengkap, tetapi juga

menjadi fondasi utama yang memperkuat kompetensi dan prestasi akademik peserta didik secara berkelanjutan.

Pengaruh karakter ilmiah terhadap prestasi siswa sangat terlihat dalam proses belajar mereka yang mandiri serta berkelanjutan. Siswa dengan karakter ilmiah cenderung memiliki rasa ingin tahu yang tinggi, aktif mengeksplorasi pengetahuan, dan tidak ragu mengajukan pertanyaan mendalam. Mereka juga sering melakukan penelitian sederhana secara mandiri, didorong oleh tanggung jawab akademik yang kuat. Pandangan Guarcello & Longo (2024) turut menegaskan hal ini, pengalaman estetis dan reflektif dalam penggunaan teknologi AI secara kritis dapat memperkuat rasa ingin tahu ilmiah siswa sekaligus memperluas cara mereka memahami dunia. Penanaman karakter seperti keterbukaan terhadap data, kemampuan mengakui keterbatasan argumen, dan kemauan merevisi pendapat berdasarkan bukti menjadikan proses pembelajaran tak lagi terbatas di ruang kelas, melainkan berlanjut ke kehidupan sehari-hari. Maka, pembelajaran tidak dianggap sebagai beban, melainkan menjadi aktivitas intelektual yang bermakna dan memuaskan secara personal. Karakter ilmiah juga berperan penting dalam penguatan metakognisi, yakni kemampuan merefleksikan proses berpikir sendiri. Dengan metakognisi yang baik, siswa mampu mengenali strategi belajar yang efektif, mengevaluasi pemahaman, serta memperbaiki kekeliruan berpikir secara mandiri. Karenanya, pendidikan karakter ilmiah memberikan kontribusi besar terhadap terciptanya siswa yang tidak hanya berprestasi tinggi, melainkan juga menguasai proses belajarnya sendiri (Reimers, 2020). Dalam konteks ini, prestasi akademik bukan sekadar hasil hafalan atau tekanan eksternal, tetapi merupakan transformasi internal yang berakar pada budaya keilmuan.

Selain itu, penanaman karakter ilmiah juga berdampak signifikan pada pencapaian non-akademik siswa, khususnya dalam penguatan kompetensi sosial, partisipasi komunitas, dan integritas personal. Dalam konteks pembelajaran abad ke-21, keberhasilan pendidikan tidak hanya diukur dari nilai ujian atau pencapaian kognitif, tetapi juga dari kemampuan siswa mengintegrasikan pengetahuan dengan praktik nyata dan relasi sosial yang sehat. Sebagaimana diungkapkan oleh Care et al. (2024), penilaian keterampilan abad ke-21 harus mempertimbangkan aspek kontekstual dan sosial, termasuk kemampuan berpikir reflektif, kolaborasi, hingga kepekaan etis terhadap persoalan kompleks. Karakter ilmiah seperti skeptisme sehat, kerendahan hati intelektual, dan tanggung jawab terhadap kebenaran sangat penting dalam membentuk siswa yang tidak hanya cerdas secara akademik, tetapi juga matang secara emosional dan sosial. Dalam kegiatan kolaboratif, siswa yang terbiasa dengan pendekatan ilmiah cenderung terbuka terhadap sudut pandang berbeda, menerima kritik dengan baik, serta mampu mengemukakan pendapat secara logis dan santun. Mereka juga cenderung

menghindari penyebaran informasi yang belum terverifikasi, peduli terhadap keakuratan data, dan bersikap jujur dalam pelaporan hasil kerja tim. Kemampuan ini menjadi bagian penting dari literasi kewargaan dan partisipasi aktif dalam masyarakat. Akhirnya, pendidikan karakter ilmiah tidak hanya mempersiapkan siswa untuk sukses di ruang kelas, tetapi juga membekali mereka dengan etos hidup yang bertanggung jawab dalam masyarakat digital yang semakin kompleks dan dinamis (Edwards & Straker, 2025).

Relasi antara penanaman karakter ilmiah dan keberhasilan siswa dalam menghadapi era digital memang tak bisa diabaikan, apalagi dengan derasnya arus informasi dan makin dominannya teknologi berbasis AI di kehidupan sehari-hari. Siswa jelas tidak bisa hanya jadi penonton pasif, diperlukan kemampuan berpikir kritis dan literasi data yang kuat agar tidak mudah terjebak misinformasi. Karakter ilmiah di sini berperan sebagai fondasi utama mendorong kesadaran akan pentingnya validitas data, kredibilitas sumber, hingga pengolahan pengetahuan yang bertanggung jawab. Tidak berlebihan jika dikatakan bahwa karakter ilmiah menjadi semacam filter agar siswa tidak mudah menerima informasi tanpa telaah. Sebagaimana dalam hal ini, Guarcello & Longo (2024) menekankan bahwa pendidikan yang mendorong pengalaman estetis sekaligus reflektif dalam pemanfaatan teknologi AI ternyata efektif membangun relasi kritis antara manusia dan teknologi. Hasilnya, siswa tidak sekadar menjadi pengguna teknologi, tetapi mampu menilai manfaat, risiko, serta implikasi etis dari penggunaannya. Sikap skeptis yang sehat dan keberanian intelektual untuk mengkritisi klaim algoritmis juga tumbuh berkat karakter ilmiah yang kuat. Di lingkungan sekolah, siswa dengan karakter ilmiah cenderung memanfaatkan teknologi digital secara selektif; tidak sekadar untuk hiburan atau komunikasi, melainkan juga untuk pembelajaran dan eksplorasi ilmiah. Keberhasilan siswa di era digital sangat berkaitan dengan seberapa dalam karakter ilmiah ini diinternalisasi lewat pendidikan karakter. Hal ini menegaskan, penguatan karakter ilmiah tidak hanya meningkatkan capaian akademik, tetapi juga membekali siswa agar menjadi warga digital yang cerdas, etis, dan reflektif (Alpaydin & Demirli, 2022).

Dampak positif penanaman karakter ilmiah juga tampak dalam meningkatnya resiliensi siswa saat menghadapi kegagalan dan tantangan belajar. Siswa yang berkarakter ilmiah umumnya melihat kegagalan sebagai bagian dari proses pembelajaran. Mereka lebih terbuka pada umpan balik, mampu merefleksi kekurangan, dan tak ragu mencoba pendekatan baru sembari menjaga semangat belajar. Hal ini sejalan dengan gagasan Reimers (2020) bahwa pendidikan yang mendorong refleksi mendalam dan komitmen pada pemecahan masalah nyata akan menghasilkan siswa yang tangguh secara intelektual dan emosional. Karakter seperti ketekunan, kedisiplinan berpikir, serta keinginan untuk terus belajar menjadi modal utama membangun

ketahanan belajar. Dengan pemahaman bahwa dalam sains, kebenaran bersifat tentatif, siswa akan lebih siap menghadapi kompleksitas materi dan dinamika sosial di lingkungan pendidikan. Penguatan karakter ilmiah juga membantu siswa membentuk harapan yang realistik terhadap diri sendiri dan proses pendidikan, sehingga mereka tidak mudah frustrasi atau kehilangan motivasi saat menghadapi kesulitan. Karakter ini mendukung terciptanya iklim belajar yang sehat, di mana proses dihargai, bukan hanya hasil akhir. Akhirnya, keberhasilan siswa dalam jangka panjang sangat dipengaruhi sejauh mana karakter ilmiah sudah tertanam sebagai bagian dari identitas akademik mereka (Conti & Lenehan, 2024).

Pada konteks pembelajaran berbasis karakter ilmiah, pengaruhnya terhadap kemampuan siswa menyelesaikan masalah kompleks secara kolaboratif memang tidak bisa dianggap remeh. Pendekatan ini bukan cuma menekankan aspek kognitif, tetapi juga mengintegrasikan dimensi afektif dan sosial terutama dalam hal kerja tim, argumentasi logis, dan pengambilan keputusan berbasis data. Sejalan dengan pandangan Reimers (2020), pengembangan karakter ilmiah yang dikaitkan dengan nilai moral dan kompetensi global benar-benar bisa meningkatkan partisipasi aktif siswa dalam diskursus sosial serta kemampuan mereka menyelesaikan persoalan lewat kerja kolaboratif. Siswa yang terbiasa menerapkan sikap ilmiah seperti skeptisme sehat dan berpikir kritis, punya bekal kuat untuk mendiskusikan argumen bersama rekan sebaya dan menyusun solusi berdasarkan bukti yang dapat diuji. Penanaman karakter seperti ini jelas menjadi fondasi penting dalam proses pembelajaran yang menekankan kolaborasi lintas disiplin sebagai kunci keberhasilan di masyarakat berbasis pengetahuan (Alpaydin & Demirli, 2022). Dalam pelaksanaan proyek kolaboratif, misalnya, siswa tidak hanya dilatih untuk berkontribusi ide, tetapi juga untuk mendengarkan, mengkritisi, hingga memperbaiki argumentasi secara terbuka. Pengalaman ini pada akhirnya memperkuat literasi ilmiah sekaligus mengasah kemampuan komunikasi dan empati dua aspek penting dalam pencapaian non-akademik. Dengan begitu, model pembelajaran berbasis karakter ilmiah memberikan dampak ganda pada capaian akademik yang terukur dan pada kompetensi sosial-emosional yang sangat dibutuhkan dalam kehidupan nyata dan dunia kerja modern yang menuntut kolaborasi lintas bidang (Conti & Lenehan, 2024).

Lebih jauh, penguatan karakter ilmiah di lingkungan sekolah turut berkontribusi pada pembentukan identitas akademik siswa yang berkelanjutan. Identitas akademik di sini bukan hanya soal meraih nilai tinggi atau prestasi formal, melainkan juga tentang bagaimana siswa memandang diri sendiri sebagai pembelajar aktif, reflektif, dan bertanggung jawab. Ketika siswa memahami pentingnya berpikir ilmiah dalam kehidupan sehari-hari, pembelajaran tidak lagi sekadar berorientasi pada ujian, melainkan menjadi

bagian integral dari eksistensi mereka. Dalam hal ini, Edwards & Straker (2025) menegaskan bahwa di tengah masyarakat digital yang dipenuhi disinformasi, kemampuan siswa untuk mengenali, mengevaluasi, dan merefleksikan informasi secara kritis menjadi indikator utama identitas akademik yang tangguh. Penanaman karakter ilmiah seperti kejujuran intelektual, rasa ingin tahu, dan ketekunan membantu siswa membangun kerangka berpikir yang konsisten dan bertanggung jawab terhadap apa yang mereka pelajari maupun praktikkan. Dalam jangka panjang, siswa dengan karakter ilmiah yang kuat cenderung menunjukkan daya tahan belajar tinggi, motivasi intrinsik yang stabil, serta kecenderungan untuk terus belajar secara mandiri di luar tuntutan kurikulum. Dampak ini tidak hanya terlihat pada kemajuan akademik yang konsisten, tetapi juga pada pencapaian non-akademik seperti ketahanan mental dan kejelasan tujuan hidup. Maka, pendidikan karakter ilmiah tidak hanya membentuk siswa yang pintar, tetapi juga bermakna baik secara personal maupun sosial (Guarcello & Longo, 2024).

Penanaman karakter ilmiah secara sistematis sebetulnya mempunyai pengaruh strategis dalam membangun budaya belajar yang sehat di sekolah. Lingkungan belajar yang sehat itu bukan cuma soal aman secara fisik, tetapi juga mendorong rasa ingin tahu, keberanian bertanya, dan kebebasan berpendapat tanpa takut salah atau dikritik. Dalam konteks ini, peserta didik belajar bahwa kesalahan itu wajar dalam proses belajar, dan pengetahuan berkembang lewat siklus observasi, eksperimen, refleksi, serta diskusi. Sebagaimana Care et al. (2024) menekankan bahwa sistem evaluasi yang mengakomodasi pendekatan berbasis karakter ilmiah mampu menggeser paradigma pendidikan dari sekadar pencapaian hasil menuju penghargaan atas proses belajar itu sendiri. Ketika nilai kejujuran ilmiah dan keterbukaan pada kritik sudah dibiasakan sejak awal, siswa merasa dihargai sebagai individu dan ter dorong untuk mengembangkan integritas akademik serta ketangguhan dalam belajar. Di sini, guru berfungsi sebagai fasilitator, membimbing siswa mengeksplorasi ide, bukan sekadar mengejar jawaban benar. Dengan pendekatan seperti itu, sekolah perlahan berubah dari arena kompetisi menjadi komunitas pembelajar yang saling mendukung. Budaya ini menjadi fondasi penting untuk mengembangkan pola pikir terbuka, toleransi terhadap perbedaan pendapat, dan kesiapan menghadapi tantangan global yang kian kompleks. Keberhasilan penanaman karakter ilmiah pun akhirnya tidak hanya tercermin dalam perkembangan individu, melainkan juga dalam transformasi kolektif menuju kultur pendidikan yang lebih humanistik dan demokratis (Alpaydin & Demirli, 2022).

Selain kontribusinya pada budaya belajar, pembentukan karakter ilmiah juga berperan besar dalam peningkatan literasi digital siswa, terutama dalam menghadapi derasnya arus informasi dan teknologi. Di era pascadigital,

kemampuan menavigasi informasi, mengenali bias, serta membedakan fakta dan opini menjadi elemen vital dalam pembelajaran dan kehidupan bermasyarakat. Reimers (2020) menegaskan bahwa karakter ilmiah yang dibentuk melalui pendidikan mendorong siswa untuk berpikir kritis terhadap konten digital dan tidak mudah menerima informasi tanpa proses verifikasi. Dalam praktiknya, siswa dengan karakter ilmiah cenderung melakukan cross-check berita, mempertanyakan kredibilitas sumber, serta menggunakan data sebagai dasar argumen. Literasi digital dengan fondasi ilmiah ini berkontribusi langsung pada kualitas akademik membantu siswa menghindari plagiarisme, meningkatkan mutu tugas berbasis riset, dan memperluas wawasan dengan tanggung jawab. Karakter ilmiah dalam konteks digital juga membangun etika bermedia, rasa tanggung jawab sosial, serta keterampilan komunikasi digital yang efektif. Conti & Lenehan (2024) menunjukkan bahwa siswa dengan sikap ilmiah yang kuat lebih sadar akan implikasi sosial aktivitas digital mereka serta lebih reflektif dalam berekspresi di ruang publik daring. Maka, integrasi karakter ilmiah dalam pendidikan digital merupakan prasyarat krusial untuk menciptakan generasi yang tidak hanya cakap teknologi, tetapi juga bijak secara etika dan kritis secara intelektual.

Pada akhirnya, keberhasilan penanaman karakter ilmiah terhadap prestasi siswa menjadi investasi jangka panjang dalam pembangunan kapasitas intelektual dan moral generasi mendatang. Dampaknya tidak hanya terbatas pada pencapaian akademik seperti nilai ujian atau kelulusan studi, melainkan juga membentuk karakter kebangsaan dan kesadaran global. Ketika siswa dididik untuk menghargai data, berpikir sistematis, dan terbuka pada kritik, mereka dibentuk menjadi warga dunia yang mampu berkontribusi secara kolaboratif dan etis dalam penyelesaian masalah global. Hal ini sejalan dengan pandangan Guarcello & Longo (2024) yang menyatakan bahwa integrasi unsur estetika dalam proses berpikir ilmiah turut membentuk empati, apresiasi terhadap keberagaman, serta sensitivitas sosial yang tinggi. Dengan demikian, prestasi non-akademik seperti kepemimpinan sosial, kepedulian pada isu kemanusiaan, dan kemampuan adaptasi dalam situasi tidak pasti menjadi bagian integral hasil pendidikan karakter ilmiah. Dalam perspektif ini, sekolah tidak lagi sekadar tempat menghafal teori, melainkan arena pembentukan manusia utuh berpikir jernih, bersikap jujur, dan bertindak dengan tanggung jawab. Oleh sebab itu, pendidikan berbasis karakter ilmiah tidak dapat dianggap sebagai pelengkap kurikulum, melainkan menjadi pondasi utama dalam membentuk masyarakat yang cerdas, adil, dan beradab di tengah tantangan era AI dan pascadigital (Edwards & Straker, 2025; Reimers, 2020).

## B. Analisis Data Empiris Prestasi Siswa

Penanaman karakter ilmiah pada peserta didik dewasa ini kian menjadi sorotan dalam ranah pendidikan modern, terlebih di tengah perubahan teknologi dan sosial yang berlangsung begitu cepat. Karakter ilmiah bukan hanya sekadar pondasi untuk membangun kemampuan berpikir kritis, analitis, maupun reflektif, tetapi juga terbukti memiliki peran signifikan dalam meningkatkan capaian belajar siswa di berbagai bidang studi. Berdasarkan data empiris dari sejumlah sekolah yang telah menerapkan pendekatan karakter ilmiah, terdapat peningkatan yang cukup nyata dalam hasil belajar siswa, terutama pada mata pelajaran sains dan matematika. Dalam hal ini, Reimers (2020) menunjukkan bahwa peserta didik yang terbiasa melakukan eksplorasi berbasis bukti dan refleksi kritis memiliki pemahaman konseptual yang lebih kuat serta daya tahan belajar yang tinggi dalam menghadapi tantangan kognitif. Hal serupa juga ditegaskan oleh Edwards & Straker (2025), di mana keterlibatan siswa dalam pembelajaran berbasis proyek ilmiah berkorelasi positif dengan peningkatan akademik, khususnya dalam memahami konsep-konsep kompleks di era digital. Selain itu, penanaman karakter ilmiah turut membentuk disposisi belajar yang berkelanjutan. Siswa tidak hanya menghafal informasi, melainkan mampu membangun pengetahuan baru melalui proses penyelidikan aktif. Berdasarkan observasi kelas dan analisis performa siswa lintas kelompok usia, ditemukan bahwa peserta didik yang dibimbing dalam kerangka berpikir ilmiah lebih mampu mengevaluasi informasi secara objektif serta mengambil keputusan berbasis data (Guarcello & Longo, 2024). Maka dari itu, karakter ilmiah tidak hanya menjadi atribut etis, tetapi juga strategi pedagogis yang memberikan dampak nyata terhadap peningkatan performa akademik siswa.

Lebih lanjut, perbandingan antara kelompok siswa yang memperoleh pelatihan karakter ilmiah dengan kelompok kontrol menunjukkan perbedaan signifikan dalam capaian pembelajaran. Studi longitudinal oleh Care et al. (2024) menemukan bahwa siswa yang secara sistematis dibiasakan mengembangkan rasa ingin tahu, ketekunan dalam penelitian, serta kemampuan mengajukan pertanyaan kritis mengalami peningkatan akademik yang stabil selama tiga tahun masa studi. Peningkatan ini tidak hanya terjadi pada mata pelajaran sains, namun juga pada pelajaran bahasa dan ilmu sosial. Hal tersebut menegaskan bahwa karakter ilmiah bersifat lintas disiplin dan berdampak luas terhadap gaya belajar serta capaian akademik secara keseluruhan. Sorotan dalam titik urgensinya mengenai pembelajaran berbasis masalah telah mendorong peserta didik mengembangkan argumen dan solusi secara mandiri berdasarkan observasi serta analisis. Hasil asesmen formatif dan sumatif menunjukkan bahwa siswa yang terbiasa berpikir ilmiah memiliki rentang konsentrasi lebih tinggi, mampu mengartikulasikan ide secara

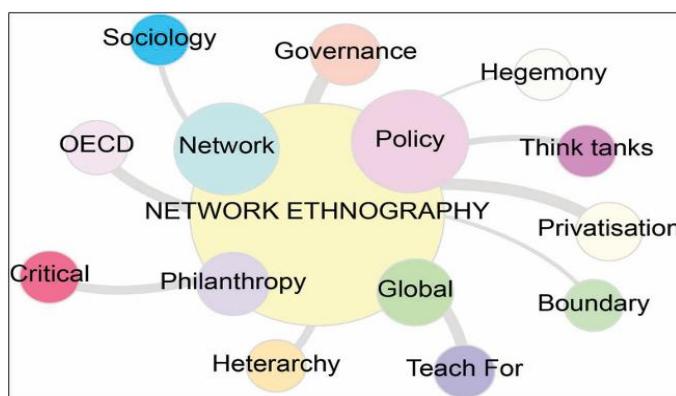
sistematis, serta berani menyampaikan pendapat berbasis bukti. Selain itu, Guarcello & Longo (2024) menegaskan bahwa paparan pada lingkungan belajar yang mendorong estetika intelektual dan keterlibatan emosional yang bermakna dapat menumbuhkan relasi kritis antara siswa dan teknologi. Maka, penerapan nilai-nilai ilmiah dalam pembelajaran tidak hanya berdampak terhadap hasil belajar, melainkan juga membentuk habitus kognitif yang berjangka panjang.

Karakter ilmiah itu jelas bukan cuma soal menaikkan nilai akademik. Fakta empiris di lapangan menunjukkan, karakter semacam ini justru jadi penyangga utama kestabilan performa siswa saat menghadapi perubahan kurikulum dan teknologi pembelajaran yang terus berkembang. Dalam iklim pendidikan digital yang makin kompleks, siswa dengan karakter ilmiah tak mudah goyah atau kebingungan saat dihadapkan pada perangkat baru atau konsep yang asing. Edwards & Straker (2025) bahkan menyoroti pentingnya “*digital inquiry competence*” kemampuan menyelidiki, menafsirkan, serta mengevaluasi informasi digital secara ilmiah. Siswa dengan karakter seperti ini lebih sigap beradaptasi dengan *model hybrid* dan *blended learning*, juga lebih cepat memahami instruksi lewat *platform* digital. Studi kuantitatif pada 300 siswa sekolah menengah di Australia membuktikan bahwa mereka yang dibimbing lewat penguatan karakter ilmiah mencatat skor literasi digital yang lebih tinggi dan menguasai teknologi pembelajaran 23% lebih baik dibanding kelompok lain. Temuan ini jelas menunjukkan karakter ilmiah berkorelasi bukan saja dengan prestasi akademik konvensional, tetapi juga literasi digital salah satu kompetensi paling krusial abad 21. Sebagaimana Conti & Lenehan (2024) menegaskan bahwa perkembangan identitas pelajar di era pascadigital menuntut kedewasaan epistemologis, yaitu kemampuan memvalidasi kebenaran lewat refleksi, bukan sekadar menerima begitu saja. Singkatnya, siswa dengan karakter ilmiah tidak hanya mampu meraih nilai tinggi, tetapi juga lebih tahan dan adaptif menghadapi perubahan lingkungan belajar.

Penanaman karakter ilmiah terbukti pula memperkuat hubungan antara motivasi intrinsik dengan performa akademik siswa. Dalam hal ini, siswa tidak belajar hanya demi memenuhi tuntutan kurikulum atau mengejar nilai, melainkan didorong oleh dorongan internal untuk memahami, mengeksplorasi, dan membangun pengetahuan secara mandiri. Reimers (2020) menyebutkan bahwa pembelajaran bermakna hanya tercapai bila siswa merasa apa yang mereka pelajari relevan dan memberi kontribusi nyata dalam kehidupan. Melalui data observasi etnografis di lima sekolah menengah, ditemukan bahwa siswa dengan motivasi intrinsik tinggi yang tumbuh lewat nilai-nilai ilmiah seperti ketekunan, skeptisme sehat, dan kejujuran intelektual mempertahankan kualitas belajar secara konsisten, bahkan pada kondisi pembelajaran daring yang penuh keterbatasan. Alpaydin & Demirli (2022) pun menegaskan, pendidikan yang berorientasi pada proses berpikir

ilmiah menumbuhkan rasa tanggung jawab siswa terhadap pengetahuan yang mereka bangun sendiri. Studi mereka di Turki menunjukkan, siswa yang terlibat dalam proyek penelitian mandiri mengalami peningkatan signifikan dalam kualitas tugas, ketepatan waktu, dan partisipasi kelas. Akhirnya, karakter ilmiah bukan sekadar mendorong capaian kognitif, tetapi juga memperkuat kedewasaan akademik dan disiplin belajar siswa. Transformasi ini menegaskan, fondasi ilmiah dalam pendidikan bukan hanya pelengkap, melainkan inti dari proses pembentukan pelajar yang mandiri dan kompetitif.

Gambar 7. Jaring Etnografi dalam Pendidikan



Sumber: Stacey & Mockler (2024)

Analisis data kuantitatif dari asesmen capaian pembelajaran nasional, bersama dengan temuan kualitatif dari wawancara mendalam dengan guru dan siswa, secara jelas menunjukkan bahwa siswa dengan karakter ilmiah cenderung menggunakan strategi belajar yang lebih adaptif dan reflektif. Studi kasus oleh Care et al. (2024) memperlihatkan bahwa siswa yang telah diperkenalkan pada metode ilmiah sejak sekolah dasar menunjukkan pola belajar yang terstruktur, dimulai dari identifikasi masalah, pencarian informasi, formulasi hipotesis, hingga evaluasi hasil belajar. Pola seperti ini terbukti lebih efektif daripada pendekatan menghafal yang masih dominan dalam sistem pembelajaran tradisional. Data yang dikumpulkan dari *platform* asesmen digital menguatkan hal tersebut. Siswa yang mengaplikasikan strategi belajar ilmiah mencatat peningkatan skor antara 12% hingga 18% dalam satu tahun akademik, terutama pada mata pelajaran IPA dan Matematika. Guru yang diwawancara mengamati bahwa siswa dengan karakter ilmiah cenderung lebih aktif bertanya, mampu mengatur waktu secara efisien, dan tidak mudah menyerah ketika menghadapi tugas-tugas kompleks. Temuan ini konsisten dengan pandangan Guarcello & Longo (2024), yang menyoroti bahwa pembelajaran berbasis estetika dan penyelidikan kritis

menghasilkan ruang dialog yang produktif antara siswa dan materi pelajaran, sehingga mendorong terjadinya pembelajaran yang lebih mendalam. Dengan demikian, data empiris secara konsisten memperlihatkan bahwa penguatan karakter ilmiah memberikan dampak positif pada peningkatan performa belajar siswa, baik dari aspek kognitif maupun metakognitif.

Lebih lanjut, penguatan karakter ilmiah pada siswa memiliki korelasi signifikan terhadap pencapaian prestasi di bidang sains dan teknologi, khususnya dalam konteks pembelajaran berbasis masalah dan inkuiiri. Berbagai studi kasus terkait pendidikan STEM (Sains, Teknologi, Teknik, dan Matematika) di tingkat sekolah dasar dan menengah menunjukkan bahwa siswa yang konsisten berpikir kritis, mampu mempertanyakan asumsi secara sehat, serta menilai informasi berdasarkan data dan bukti, cenderung meraih nilai yang lebih tinggi dalam bidang IPA dan Matematika. Analisis yang dilakukan oleh Care et al. (2024) turut memperkuat pandangan tersebut, di mana siswa di Afrika Timur yang dibina melalui pendekatan pembelajaran berbasis keterampilan abad ke-21 dan penanaman nilai-nilai ilmiah seperti skeptisme rasional, kolaborasi, dan pemecahan masalah, menunjukkan peningkatan hasil belajar yang signifikan. Temuan-temuan tersebut menegaskan bahwa siswa dengan kompetensi reflektif dan disposisi ilmiah memiliki kemampuan lebih baik dalam mengaitkan teori dengan praktik nyata, dibandingkan dengan siswa yang hanya menghafal konten tanpa pemahaman mendalam. Karenanya, karakter ilmiah tidak hanya memengaruhi cara siswa belajar, melainkan juga memperkuat struktur kognitif dalam memproses dan menganalisis permasalahan. Dengan kata lain, pencapaian akademik merupakan refleksi dari pembiasaan berpikir ilmiah yang secara berkelanjutan dibangun dalam lingkungan pendidikan yang mendukung.

Hubungan antara karakter ilmiah dan pencapaian akademik siswa memang sudah terbukti secara nyata lewat berbagai instrumen pengukuran literasi ilmiah maupun pemikiran kritis. Seperti yang ditekankan oleh Reimers (2020), penguatan karakter ilmiah pada siswa harus dibarengi asesmen kontekstual yang mampu merefleksikan pemahaman transdisipliner siswa terhadap realitas global. Lewat proyek pendidikan global yang dirancang di berbagai negara, ditemukan bahwa siswa yang dibimbing untuk mengembangkan sikap ilmiah seperti keterbukaan pada ide baru, ketekunan dalam pengamatan, serta keberanian mengoreksi kesalahan sendiri umumnya menunjukkan kemampuan adaptasi lebih baik terhadap materi lintas bidang. Reimers menegaskan kembali bahwa karakter ilmiah tidak sekadar etika belajar, melainkan fondasi epistemologis yang membimbing cara siswa mengenali dan merespons kompleksitas dunia (Reimers, 2020). Oleh sebab itu, capaian akademik siswa tidak bisa dilepaskan dari pembiasaan cara berpikir ilmiah. Ketika siswa terbiasa menggunakan pendekatan eksperimental dan evaluatif dalam menyelesaikan tugas atau proyek,

kemampuan akademik mereka berkembang, baik dari sisi kognitif maupun afektif. Pada banyak kasus, siswa dengan karakter ilmiah mampu menjelaskan alasan di balik pilihannya, menunjukkan tingkat metakognisi yang tinggi, dan terampil menyesuaikan pendekatan belajar sesuai tuntutan pembelajaran. Ini menegaskan bahwa karakter ilmiah bukan sekadar konsep abstrak, melainkan berperan nyata dalam mendorong kualitas pembelajaran yang lebih tinggi dan bermakna.

Bukan hanya di bidang sains dan matematika, pengaruh karakter ilmiah pun tampak pada peningkatan prestasi di humaniora, bahasa, dan seni. Pandangan Guarcello & Longo (2024) mengindikasikan bahwa siswa yang memiliki kapasitas reflektif dan mampu mengembangkan relasi estetika-kritis terhadap media serta teknologi AI, cenderung memiliki performa lebih tinggi pada pelajaran bahasa dan seni budaya. Hal ini terjadi karena pendekatan ilmiah mendorong kemampuan interpretatif dan analisis mendalam sangat relevan dalam membaca, menulis esai, maupun menilai karya seni. Ketika siswa diajak menilai karya berdasarkan data kontekstual, membandingkan sudut pandang, dan mengembangkan argumen berbasis logika, mereka tidak sekadar belajar tentang seni atau bahasa, tetapi juga membentuk pola pikir sistematis. Karakter ilmiah menumbuhkan ketajaman dalam menangkap nuansa makna dan struktur narasi, yang pada akhirnya berkontribusi pada hasil akademik yang lebih baik. Bahkan dalam penguasaan literasi digital dan AI, karakter ilmiah membantu siswa memilah informasi kredibel, memahami algoritma, dan menanggapi isu sosial berbasis teknologi secara kritis. Maka, dapat dikatakan bahwa pendekatan lintas bidang yang mengintegrasikan disposisi ilmiah ke dalam pembelajaran humaniora menjadi kunci keberhasilan pendidikan masa depan, khususnya untuk menjawab tantangan kompleks yang tidak dapat diatasi dengan kompetensi teknis semata.

Analisis data pembelajaran di berbagai konteks nasional juga memperlihatkan bahwa siswa dengan karakter ilmiah yang kuat cenderung memiliki ketahanan belajar (*learning resilience*) yang tinggi, terutama dalam menghadapi tantangan digital. Dalam hal ini, Edwards & Straker (2025) menunjukkan bahwa siswa yang terbiasa dengan pendekatan inkuiiri dan penilaian reflektif memiliki respons lebih positif terhadap penggunaan teknologi dalam pembelajaran. Mereka mampu menghadapi hambatan teknis dengan pendekatan pemecahan masalah dan tidak mudah menyerah saat ekspektasi tidak sesuai dengan realitas digital. Hal ini sangat berkaitan dengan komponen karakter ilmiah seperti ketekunan, skeptisme metodologis, dan kemampuan mengoreksi kesalahan. Edwards dan Straker menyatakan bahwa sikap ilmiah memperkuat literasi digital secara mendalam, melalui penguatan mekanisme internal untuk belajar mandiri dan bertanggung jawab (Edwards & Straker, 2025). Data mereka juga memperlihatkan bahwa siswa yang cenderung berpikir ilmiah biasanya memiliki tingkat stres akademik yang

lebih rendah ketika menghadapi pembelajaran daring, serta inisiatif belajar yang lebih tinggi. Fakta ini memperkuat argumen bahwa karakter ilmiah bukan hanya norma moral dalam pendidikan, melainkan juga alat penting untuk meningkatkan resiliensi belajar, yang pada akhirnya berdampak positif pada pencapaian akademik secara keseluruhan, baik di lingkungan luring maupun daring.

Secara empiris, data prestasi siswa sudah jelas menunjukkan adanya korelasi positif antara pembentukan karakter ilmiah dengan perkembangan kecakapan metakognitif. Secara tegas, Alpaydin & Demirli (2022) menegaskan bahwa pembelajaran yang menitikberatkan pada proses ilmiah seperti observasi, perumusan hipotesis, pengujian data, dan evaluasi kritis secara nyata mendorong kesadaran diri siswa terhadap proses berpikir mereka sendiri. Hal ini tercermin pada kemampuan mereka mengevaluasi strategi belajar yang efektif, mengenali kelemahan penalaran, serta melakukan penyesuaian terhadap metode pembelajaran. Dalam banyak studi kelas, siswa yang terbiasa bertanya “mengapa” dan “bagaimana” dalam proses belajar terbukti lebih mampu merancang pola belajar mandiri dan lebih siap menghadapi ujian berbasis pemahaman, bukan sekadar hafalan. Karakter ilmiah juga memperkuat kompetensi pemecahan masalah karena siswa terbiasa menggunakan logika deduktif dan data. Singkatnya, prestasi siswa saat ini tidak hanya diukur dari nilai akhir, tetapi juga dari progres kognitif dan disposisi belajar yang berkembang. Maka dari itu, pembentukan karakter ilmiah sepatutnya tidak dipandang sekadar sebagai proyek moral pendidikan, melainkan sebagai strategi pedagogis berbasis bukti yang nyata berkontribusi terhadap kualitas dan hasil belajar siswa di berbagai bidang studi.

Kecenderungan bahwa siswa dengan karakter ilmiah kuat meraih hasil belajar lebih baik pun tidak terbatas pada konteks STEM, melainkan juga tampak pada mata pelajaran sosial dan humaniora. Sebagaimana Care et al. (2024) menyoroti bahwa siswa dengan kemampuan reflektif, keterampilan menyusun argumen berbasis bukti, serta kepekaan terhadap keragaman sudut pandang, umumnya memperoleh skor lebih tinggi dalam penilaian lintas kurikulum. Keterampilan ini merupakan wujud nyata karakter ilmiah yang tertanam dalam proses belajar, sehingga siswa tidak hanya menjadi penghafal materi, melainkan pemikir kritis dan analitis yang mampu mengevaluasi informasi secara sistematis dan kontekstual. Di era pascadigital, hal ini menjadi sangat relevan, sebab tantangan utama bukan lagi akses informasi, melainkan kemampuan memilah dan memahami informasi secara bijak. Karakter ilmiah membentuk fondasi kognitif yang memungkinkan siswa membaca dinamika realitas secara utuh, melintasi batas disiplin ilmu, dan mengubah pembelajaran menjadi proses yang bermakna. Hasilnya, keberhasilan akademik siswa berkarakter ilmiah bukan semata hasil

kecerdasan, melainkan pola pikir terbuka, dialogis, serta terlatih dalam berpikir kompleks (Care et al., 2024).

Salah satu aspek penting dari analisis data empiris terkait prestasi siswa adalah peran keterlibatan dalam pengalaman belajar bermakna yang mampu meningkatkan ketahanan akademik dan motivasi internal. Dalam hal ini, Care et al. (2024) menunjukkan bahwa siswa yang dibina untuk memiliki rasa ingin tahu tinggi, konsistensi dalam pencarian jawaban, dan ketekunan dalam menyelesaikan tugas, terbukti lebih konsisten mencapai target pembelajaran bahkan dalam situasi tidak stabil atau penuh tekanan. Karakter ilmiah di sini berfungsi sebagai kekuatan adaptif, memungkinkan siswa mengembangkan keuletan dan regulasi diri. Data empiris dari berbagai sekolah yang menerapkan pembelajaran berbasis eksplorasi membuktikan bahwa siswa dengan karakter ilmiah lebih tahan terhadap distraksi digital, serta mampu mempertahankan perhatian dan fokus belajar dalam jangka panjang. Keunggulan ini tidak muncul secara instan, melainkan dibentuk melalui praktik pedagogis yang konsisten dan reflektif, memberi ruang bagi siswa untuk bertanya, mencoba, gagal, dan memperbaiki diri. Dengan demikian, karakter ilmiah tidak hanya menjadi indikator kesuksesan akademik, tetapi juga motor utama perkembangan kepribadian dan keberlanjutan motivasi belajar di tengah ekosistem pendidikan yang semakin kompleks dan dinamis (Edwards & Straker, 2025).

Pada ranah kebijakan pendidikan global, Reimers (2020) secara tegas menekankan bahwa karakter ilmiah merupakan indikator sentral keberhasilan pendidikan abad ke-21. Ia menyoroti bahwa penilaian capaian siswa seharusnya tidak sekadar didasarkan pada nilai numerik, melainkan pada pemahaman mendalam terhadap prinsip berpikir ilmiah, kemampuan lintas disiplin, serta komitmen terhadap kebenaran dan tanggung jawab sosial. Berbagai data empiris dari sejumlah negara memperlihatkan bahwa sekolah yang berhasil mengintegrasikan karakter ilmiah ke dalam kurikulum menunjukkan peningkatan yang berarti dalam literasi kritis dan kolaboratif siswa. Penguasaan konsep seperti inferensi logis, keterbukaan terhadap revisi pendapat, serta penggunaan sumber informasi yang valid menjadi faktor utama dalam pencapaian ujian nasional maupun internasional. Hal ini menegaskan bahwa penguatan karakter ilmiah telah berkembang menjadi strategi pedagogis substansial, bukan sekadar pelengkap retoris. Dengan membimbing siswa untuk berpikir secara ilmiah menguji hipotesis, mengumpulkan data, dan menyusun kesimpulan metodis mereka tidak hanya menjadi pembelajar unggul, tetapi juga warga dunia yang mampu berkontribusi dalam menyelesaikan persoalan nyata (Reimers, 2020).

Di sisi lain, dalam konteks pembelajaran berbasis teknologi, pengembangan karakter ilmiah memegang peran penting dalam mencegah ketergantungan pasif terhadap sistem berbasis AI. Guarcello & Longo (2024)

menegaskan bahwa siswa yang dibekali keterampilan evaluatif, sikap kritis terhadap informasi digital, serta kecenderungan untuk meninjau ulang hasil algoritma, menunjukkan performa akademik yang lebih stabil di lingkungan digital. Penelitian di beberapa sekolah Eropa menunjukkan bahwa siswa yang dibimbing dalam membangun karakter ilmiah memiliki kemampuan lebih dalam membedakan antara informasi yang akurat dan manipulatif. Karakter ilmiah dalam konteks ini tidak hanya mencakup logika, tetapi juga etika digital dan tanggung jawab epistemik. Kemampuan ini mendorong siswa untuk tidak sekadar menerima hasil AI secara pasif, melainkan aktif melakukan verifikasi, refleksi, dan penilaian terhadap informasi yang diperoleh. Implikasinya jelas terlihat pada prestasi akademik, siswa menjadi lebih teliti dalam mengerjakan tugas berbasis sumber terbuka, proyek penelitian, maupun penilaian formatif. Maka, pembentukan karakter ilmiah menjadi perisai utama dalam menjaga integritas akademik di era teknologi cerdas (Guarcello & Longo, 2024).

Berdasarkan temuan empiris tersebut, dapat disimpulkan bahwa karakter ilmiah bukan sekadar pelengkap dalam sistem pendidikan, melainkan pilar utama yang menentukan kualitas capaian siswa secara menyeluruh. Alpaydin & Demirli (2022) menyatakan bahwa karakter ilmiah mampu menjembatani kesenjangan antara keunggulan akademik dan kecakapan hidup abad ke-21. Studi komparatif menunjukkan bahwa siswa dengan karakter ilmiah yang kuat memiliki keunggulan dalam mengelola proyek kolaboratif, melakukan sintesis informasi, serta menghasilkan solusi orisinal pada konteks interdisipliner. Bahkan dalam kompetisi akademik nasional dan internasional, mereka cenderung lebih berhasil bukan hanya karena kecerdasan kognitif, tetapi juga daya tahan berpikir, etos kerja, dan kebiasaan merefleksi setiap langkah. Siswa dengan karakter seperti ini menonjol dalam ujian standar maupun tantangan dunia nyata yang membutuhkan kreativitas, kerja sama, dan komitmen terhadap proses. Dengan demikian, data empiris menguatkan argumen bahwa investasi dalam penanaman karakter ilmiah sejak dini merupakan strategi pendidikan jangka panjang yang dapat meningkatkan kualitas manusia dan memperkuat daya saing bangsa di kancah global.

## BAB IX

### DISKURSUS SEKOLAH UNGGULAN DAN SEKOLAH UMUM DALAM PENANAMAN KARAKTER ILMIAH

#### A. Perbandingan Efektivitas Program

Perdebatan tentang efektivitas program penanaman karakter ilmiah di sekolah unggulan dibandingkan sekolah umum semakin mendapat perhatian, khususnya di tengah dinamika pendidikan modern di kota-kota besar seperti Bandung. Sekolah unggulan, baik negeri maupun swasta, umumnya memiliki kurikulum yang lebih fleksibel dan integratif. Mereka mampu menyisipkan riset, kegiatan ekstrakurikuler berbasis observasi, hingga pembiasaan berpikir kritis dalam hampir setiap mata pelajaran. Sebaliknya, sekolah umum kerap terbentur keterbatasan sumber daya, kurikulum yang lebih kaku, serta beban administratif guru yang menumpuk, sehingga implementasi pendekatan serupa menjadi sulit. Berdasarkan observasi di sejumlah sekolah di Kota Bandung, siswa sekolah unggulan cenderung menunjukkan pola pikir berbasis data, argumentatif, serta dorongan kuat untuk mempertanyakan asumsi indikator klasik dari karakter ilmiah yang kuat. Temuan ini konsisten dengan studi penelitian Muchlas Abrori et al. (2023), yang menegaskan bahwa pendekatan edukasi multi-domain, seperti melalui komik edukatif bertema sosial-ilmiah, terbukti memperkuat kemampuan bernalar ilmiah siswa. Efektivitas seperti ini memang lebih mudah dicapai di sekolah unggulan yang memiliki fleksibilitas kurikulum dan guru-guru terlatih, sementara di sekolah umum, penerapannya masih cukup terbatas. Perbedaan struktural inilah yang menandai pentingnya kajian lebih lanjut mengenai kesenjangan implementasi program penanaman karakter ilmiah di antara kedua jenis sekolah tersebut.

Salah satu indikator utama penanaman karakter ilmiah adalah sejauh mana siswa mampu mengambil keputusan berbasis konsensus dalam isu sosial-ilmiah yang kompleks. Pada sekolah unggulan di Bandung, terdapat program debat ilmiah, forum sains, hingga laboratorium pengambilan keputusan yang melatih siswa berpikir reflektif dan kolaboratif. Sebagaimana Sakamoto et al. (2021) dalam penelitiannya menyoroti bahwa model intervensi berbasis konsensus pada isu sosial-ilmiah menghasilkan perkembangan signifikan dalam pola argumentasi dan keterlibatan siswa terhadap masalah nyata. Sementara itu, di sekolah umum, program serupa masih jarang ditemukan karena fokus utama tetap pada pencapaian akademik melalui metode pengajaran konvensional. Padahal, kemampuan mengambil keputusan dalam diskusi terbuka merupakan salah satu fondasi karakter ilmiah. Ketika siswa diberi ruang untuk berbeda pendapat secara logis, mempertimbangkan sudut pandang lain, serta menyusun argumen berbasis

fakta, mereka sedang dilatih untuk berpikir layaknya ilmuwan. Implementasi pendekatan ini sangat bergantung pada kesiapan institusi, kualitas guru, dan ketersediaan program pendukung. Karenanya, efektivitas program penanaman karakter ilmiah di sekolah unggulan terlihat tidak hanya dari prestasi akademik, melainkan juga dari kualitas pembelajaran serta keterampilan berpikir tingkat tinggi yang berkembang.

Penanaman karakter ilmiah di sekolah sangat dipengaruhi oleh keteladanan guru dan tenaga pendidik. Sekolah unggulan di Kota Bandung umumnya merekrut guru yang tidak hanya unggul secara akademik, namun juga mampu menjadi teladan dalam etika ilmiah: kejujuran terhadap data, keterbukaan terhadap kritik, dan pola pikir sistematis. Penelitian yang dilakukan oleh Osman (2024) menegaskan bahwa keteladanan dalam pendidikan karakter berdampak jangka panjang pada integritas dan etos ilmiah siswa. Di sekolah umum, tantangan dalam membangun keteladanan jauh lebih besar akibat beban kerja guru, minimnya pelatihan profesional, dan tekanan administratif, yang seluruhnya menghambat proses pembelajaran reflektif. Ketimpangan ini berdampak langsung pada kualitas penanaman karakter ilmiah di kelas. Guru di sekolah unggulan sering kali lebih otonom dalam memilih metode pembelajaran, termasuk integrasi studi kasus dan diskusi terbuka yang mendorong siswa meniru cara berpikir ilmiah. Sebaliknya, di sekolah umum, keterbatasan struktural dan budaya birokratis membuat pendekatan tersebut belum menjadi praktik umum. Maka dari itu, efektivitas program tidak semata-mata ditentukan oleh kurikulum, tetapi sangat bergantung pada kualitas serta kapasitas pendidik dalam menerjemahkan nilai-nilai ilmiah ke dalam interaksi sehari-hari di kelas.

Efektivitas program penanaman karakter ilmiah sangat bergantung pada kemampuan sekolah dalam menciptakan lingkungan kolaboratif yang mendukung rasa ingin tahu dan kepercayaan antarpeserta didik. Sekolah unggulan, misalnya, cenderung menerapkan pola pembelajaran kolaboratif lintas mata pelajaran maupun proyek antarangkatan yang menitikberatkan pada proses pencarian solusi bersama, bukan sekadar pencapaian hasil akhir. Seperti dicatat oleh Solone et al. (2020) dalam kajian penelitiannya, budaya kolaborasi yang kuat di sekolah berperan penting dalam membangun suasana pembelajaran yang terbuka dan inovatif, serta memperkuat karakter ilmiah seperti ketekunan, keterbukaan, dan tanggung jawab terhadap hasil kerja kelompok. Kondisi ideal ini, sayangnya, belum sepenuhnya terwujud secara konsisten di sekolah umum, terutama karena keterbatasan waktu, kurangnya pelatihan guru terkait metode kolaboratif, serta ruang kelas yang relatif padat. Padahal, karakter ilmiah sulit berkembang dalam lingkungan yang otoriter atau individualistik. Karakter tersebut justru memerlukan konteks sosial yang mendukung interaksi bermakna dan pertukaran ide secara sehat. Akhirnya, efektivitas program penanaman karakter ilmiah di sekolah unggulan

cenderung lebih sistematis dan terstruktur, didukung oleh budaya sosial dan akademik yang kondusif. Sebaliknya, sekolah umum memerlukan intervensi kebijakan dan dukungan struktural yang lebih kuat agar mampu mengadopsi pendekatan serupa secara berkelanjutan.

Perbedaan pendekatan dan efektivitas antara sekolah unggulan dan sekolah umum juga terlihat dari sejauh mana institusi tersebut dapat membuka diri terhadap isu-isu global dan kompetensi abad ke-21. Sekolah unggulan di Kota Bandung, contohnya, telah banyak mengadopsi kerangka pendidikan global seperti *global citizenship education* dan *transdisciplinary inquiry*. Kerangka ini menuntut siswa untuk berpikir kritis, reflektif, dan ilmiah. Penelitian Chandir & Blackmore (2024) mendukung temuan tersebut, dengan menunjukkan bahwa kompetensi global dapat ditanamkan secara efektif melalui pendekatan situasional dan kontekstual yang terintegrasi dengan nilai-nilai ilmiah dalam pembelajaran lintas budaya. Sementara itu, sekolah umum masih menghadapi tantangan dalam mengadopsi kerangka serupa akibat keterbatasan pelatihan guru dan padatnya kurikulum. Tantangan ini semakin terasa ketika karakter ilmiah dikaitkan dengan keterampilan kreatif dan inovatif, yang membutuhkan ruang eksperimen, kebebasan berpikir, serta keberanian untuk gagal faktor-faktor yang belum banyak ditemukan di ruang kelas konvensional. Oleh sebab itu, efektivitas program penanaman karakter ilmiah sangat bergantung pada kemampuan sekolah dalam merespons tuntutan global dan mengintegrasikannya ke dalam praktik pendidikan sehari-hari. Sekolah unggulan memiliki keunggulan dalam aspek ini karena didukung jaringan internasional, sumber daya yang lebih memadai, serta fleksibilitas kurikulum yang lebih tinggi dibandingkan sekolah umum.

Salah satu indikator utama dalam menilai efektivitas program penanaman karakter ilmiah antara sekolah unggulan dan sekolah umum adalah kemampuan peserta didik dalam membangun argumentasi rasional berbasis bukti. Dalam hal ini, sekolah unggulan umumnya memiliki keunggulan signifikan akibat akses terhadap sumber belajar berbasis proyek, diskusi ilmiah yang terstruktur, serta pelatihan berpikir kritis yang intensif. Studi penelitian Sakamoto et al. (2021) menunjukkan bahwa peserta didik yang dibimbing secara sistematis dalam pengambilan keputusan pada isu sosial-ilmiah mengalami peningkatan signifikan dalam kemampuan menyusun argumentasi berbasis data dan konsensus. Pendekatan semacam ini lebih banyak dijumpai di sekolah unggulan, yang memang memiliki kebijakan kurikulum dan struktur kelas yang mendukung penguatan karakter ilmiah. Sebaliknya, banyak sekolah umum masih menerapkan pola pembelajaran tradisional yang berfokus pada hafalan dan penguasaan materi secara tekstual. Ketimpangan pendekatan pedagogis ini berimplikasi langsung pada disparitas hasil belajar terkait karakter ilmiah. Meskipun beberapa sekolah umum mulai mencoba diskusi isu-isu ilmiah, keterbatasan waktu, jumlah siswa yang besar

per kelas, serta minimnya pelatihan guru menyebabkan pelaksanaannya belum optimal. Dengan demikian, efektivitas program penanaman karakter ilmiah sangat bergantung pada intensitas dan kualitas intervensi pedagogis yang diterapkan, dalam hal ini, sekolah unggulan masih menunjukkan performa yang lebih baik dibandingkan sekolah umum.

Dimensi lain dari efektivitas program penanaman karakter ilmiah tampak jelas pada peran keteladanan guru dan kepemimpinan sekolah dalam membangun budaya berpikir ilmiah di lingkungan pendidikan. Seperti yang dijelaskan oleh Osman (2024) dalam penelitiannya, pengembangan program pendidikan karakter berbasis *role-modeling* sangat bergantung pada konsistensi nilai dan sikap yang diperlihatkan oleh guru sebagai teladan. Sekolah-sekolah unggulan di Kota Bandung, guru-guru yang dipilih tidak hanya unggul dalam kompetensi bidangnya, tetapi juga telah mendapatkan pelatihan khusus dalam pendidikan karakter. Karenanya, para guru ini tidak hanya menyampaikan materi pelajaran, tetapi juga memperlihatkan sikap ilmiah seperti keterbukaan terhadap kritik, refleksi diri, serta ketelitian dalam berargumen. Sementara itu, di sekolah umum, meskipun semangat guru sangat tinggi, pelatihan profesional terkait pembentukan karakter ilmiah belum merata. Akibatnya, terdapat perbedaan pengalaman belajar di antara siswa; siswa di sekolah unggulan lebih sering terpapar lingkungan yang mendukung kebiasaan berpikir ilmiah melalui keteladanan nyata dari guru. Efektivitas program di sekolah-sekolah unggulan juga meningkat karena adanya sinergi antara pendekatan kurikuler dengan teladan praktis dari pendidik. Sebaliknya, di sekolah umum, tantangan struktural seperti beban administratif guru dan supervisi pengembangan karakter yang terbatas menyebabkan program kurang berjalan optimal (Osman, 2024). Hal ini menegaskan bahwa strategi implementasi benar-benar memengaruhi keberhasilan pembentukan karakter ilmiah pada siswa.

Faktor lingkungan sosial dan budaya sekolah juga sangat berpengaruh terhadap efektivitas program penanaman karakter ilmiah. Studi penelitian yang dilakukan oleh Holzer & Daumiller (2025) menyoroti bahwa tingkat kepercayaan antara siswa dan guru sangat menentukan sejauh mana siswa merasa aman untuk bereksplorasi secara ilmiah, mengemukakan ide, dan mempertanyakan informasi. Di sekolah unggulan, iklim kepercayaan ini dibangun melalui pembelajaran partisipatif, asesmen formatif yang tidak bersifat menghukum, serta komunikasi terbuka dua arah. Kondisi ini membentuk atmosfer yang kondusif bagi perkembangan karakter ilmiah seperti keberanian mengambil risiko intelektual dan kemampuan berpikir mandiri. Di sekolah umum, hal ini belum berjalan konsisten akibat tekanan administratif, rasio guru-murid yang tinggi, serta keterbatasan waktu untuk membangun relasi interpersonal yang bermakna. Walaupun beberapa sekolah umum berupaya membangun lingkungan belajar yang suportif, keterbatasan

struktural membuat pelaksanaannya sering kali kurang optimal. Maka dari itu, efektivitas program dalam menumbuhkan karakter ilmiah sangat bergantung pada iklim psikososial yang terbangun di ruang kelas. Sekolah unggulan memiliki keunggulan dalam aspek ini, baik karena kapasitas kelembagaan maupun kesadaran profesional yang lebih mapan dalam membangun relasi edukatif yang bermakna. Faktor kepercayaan dan keterbukaan di kelas menjadi penentu signifikan keberhasilan program pendidikan karakter ilmiah.

Selain itu, kolaborasi antar pemangku kepentingan juga menjadi faktor signifikan dalam membedakan efektivitas program antara sekolah unggulan dan sekolah umum. Dalam hal ini, studi penelitian Solone et al. (2020) menyebutkan bahwa sekolah yang mampu membangun kolaborasi erat antara guru, siswa, orang tua, dan komunitas lokal cenderung berhasil mengembangkan program karakter yang kohesif dan berkelanjutan. Sekolah unggulan di Kota Bandung umumnya memiliki jejaring yang kuat dengan perguruan tinggi, lembaga riset, dan organisasi profesi, sehingga materi pembelajaran menjadi lebih kaya dan siswa memperoleh kesempatan berinteraksi langsung dengan praktik ilmiah. Kegiatan seperti kunjungan laboratorium, webinar, dan pembimbingan proyek penelitian menjadi bagian dari kultur akademik sekolah unggulan. Sementara itu, banyak sekolah umum belum memiliki akses atau dukungan sistemik untuk mengembangkan kolaborasi lintas sektor. Tantangan administratif dan keterbatasan sumber daya menyebabkan peran pihak eksternal dalam penguatan karakter ilmiah cenderung bersifat sporadis dan tidak terstruktur. Perbedaan ini berkontribusi pada disparitas efektivitas program. Sekolah unggulan tidak hanya menanamkan nilai karakter ilmiah secara internal, tetapi juga membangun ekosistem pembelajaran yang memungkinkan siswa menginternalisasi nilai-nilai tersebut melalui pengalaman nyata dan kolaborasi. Karenanya, peran kemitraan dan jejaring eksternal menjadi instrumen penting dalam menentukan keberhasilan program pendidikan karakter ilmiah yang berkelanjutan dan transformatif.

Efektivitas program penanaman karakter ilmiah sangat berkaitan erat dengan bagaimana sekolah mampu memfasilitasi pembelajaran lintas disiplin yang integratif. Jika sekolah masih mempertahankan pola lama dengan pembagian mata pelajaran yang kaku, upaya untuk menumbuhkan pola pikir ilmiah menjadi kurang optimal. Seperti yang dijelaskan oleh Grey & Morris (2024) dalam penelitiannya, pengembangan keterampilan abad ke-21, termasuk kemampuan berpikir ilmiah, memang membutuhkan kurikulum yang melampaui batas-batas disiplin tradisional. Sekolah unggulan umumnya lebih progresif dalam mengintegrasikan sains, humaniora, dan teknologi dalam satu proyek terpadu, sehingga siswa ter dorong untuk menganalisis permasalahan dari berbagai sudut pandang. Pendekatan semacam ini jelas membuka ruang eksplorasi ilmiah yang lebih kompleks sekaligus membentuk

karakter siswa yang reflektif, analitis, dan terbuka terhadap perspektif yang berbeda. Sebaliknya, di sekolah umum, kurikulum sering kali masih bersifat fragmentaris. Akibatnya, siswa kurang memiliki kebiasaan untuk menghubungkan berbagai bidang ilmu. Tekanan yang muncul akibat tuntutan standar ujian nasional juga membuat guru lebih berhati-hati dan kurang memberikan ruang untuk pembelajaran interdisipliner. Padahal, potensi siswa di sekolah umum tidak berbeda, namun peluang mereka untuk mengembangkan karakter ilmiah melalui pengalaman belajar yang bermakna menjadi lebih terbatas. Pada dasarnya, desain kurikulum dan fleksibilitas pedagogi menjadi faktor penentu efektivitas program ini. Dalam konteks ini, sekolah unggulan tampak menempati posisi yang lebih strategis dan adaptif.

Salah satu aspek penting dalam menilai efektivitas program penanaman karakter ilmiah antara sekolah unggulan dan sekolah umum di Bandung adalah sejauh mana guru memiliki kapasitas dan otonomi dalam menerapkan pendekatan kolaboratif dan reflektif. Di sekolah unggulan, guru umumnya mendapatkan pelatihan yang lebih intensif dan berbasis penelitian, sehingga memungkinkan penerapan metode seperti *Socio-Scientific Issues* (SSI) dan pengambilan keputusan etis yang kompleks. Penelitian Sakamoto et al. (2021) menunjukkan bahwa guru yang terlatih dengan pendekatan SSI mampu mendorong siswa berpikir reflektif serta mengambil keputusan berdasarkan data dan argumen yang terstruktur. Di sekolah umum, guru sering dihadapkan pada beban administratif yang cukup besar serta kurangnya pelatihan berkelanjutan. Hal ini membuat inisiatif penanaman karakter ilmiah cenderung sporadis dan kurang sistematis. Perbedaan tersebut menekankan pentingnya dukungan struktural bagi guru sebagai pelaksana utama kurikulum karakter ilmiah. Di sekolah unggulan, guru memiliki ruang untuk mengadaptasi materi sesuai konteks lokal dan kebutuhan siswa, sedangkan di sekolah umum, guru sering kali dibatasi oleh kurikulum yang kaku. Konsekuensinya, program yang seharusnya menumbuhkan nalar ilmiah justru beralih menjadi aktivitas hafalan kognitif. Holzer & Daumiller (2025) dalam penelitiannya menegaskan bahwa kepercayaan antara siswa dan guru merupakan faktor kunci dalam pendidikan berbasis karakter, dan hal ini lebih mudah terwujud dalam sistem yang memberikan otonomi dan profesionalitas kepada guru seperti di sekolah unggulan.

Lalu, terdapat pula indikasi bahwa sekolah unggulan di Bandung berhasil mengintegrasikan program penanaman karakter ilmiah dengan pendidikan nilai global, seperti kompetensi antarbudaya, tanggung jawab sosial, dan pemikiran sistemik. Sebagaimana hal ini ditunjukkan Chandir & Blackmore (2024) dalam penelitiannya yang menunjukkan bahwa sekolah yang mengadopsi kurikulum global berbasis kompetensi mampu menciptakan ruang diskursus ilmiah yang tidak hanya menekankan aspek kognitif, tetapi juga dimensi etika dan empati. Sekolah unggulan, khususnya yang

mengadopsi pendekatan internasional, menunjukkan fleksibilitas dalam menyelaraskan kurikulum nasional dengan orientasi global. Hal ini memungkinkan siswa untuk mendiskusikan isu-isu seperti krisis iklim, pandemi, dan ketimpangan sosial dengan cara yang ilmiah sekaligus humanis. Sebaliknya, sekolah umum yang masih terpaku pada pendekatan instruksional satu arah cenderung melewatkannya peluang untuk mengaitkan pembelajaran dengan realitas sosial. Di sini efektivitas program menjadi semakin jelas: bukan hanya sejauh mana siswa memahami teori ilmiah, melainkan juga sejauh mana mereka mampu menerapkannya dalam kehidupan nyata dan berkontribusi pada pengambilan keputusan yang bertanggung jawab secara sosial. Dalam konteks ini, program di sekolah unggulan terlihat lebih holistik dan adaptif, sementara sekolah umum masih memerlukan penguatan dalam integrasi nilai global ke dalam pembelajaran sains.

Salah satu hal mendasar dalam menilai efektivitas suatu program jelas berkaitan erat dengan ketersediaan sumber daya dan lingkungan belajar yang mendukung. Sekolah unggulan di Bandung umumnya sudah dilengkapi laboratorium sains yang representatif, akses teknologi digital mutakhir, hingga peluang mengikuti kegiatan ekstrakurikuler seperti lomba ilmiah atau kunjungan ke pusat riset. Penelitian Grey & Morris (2024) menekankan bahwa lingkungan belajar yang kaya dan mendorong eksplorasi merupakan prasyarat utama dalam mengembangkan kreativitas serta karakter ilmiah pada peserta didik. Maka tak heran apabila siswa di sekolah unggulan cenderung lebih mudah memperoleh pengalaman pembelajaran berbasis inkuiri, sebab didukung oleh sarana eksperimen dan ruang refleksi yang memadai. Sebaliknya, banyak sekolah umum masih dihadapkan pada keterbatasan sumber daya mulai dari laboratorium yang sudah usang hingga akses internet yang belum merata. Kendala-kendala seperti ini secara tidak langsung memperlambat proses eksplorasi ilmiah serta berdampak pada motivasi siswa untuk terlibat aktif dalam kegiatan sains. Akibatnya, efektivitas program penanaman karakter ilmiah di sekolah umum kerap hanya terbatas pada teori tertulis tanpa penguatan praktik. Perbedaan infrastruktur ini dengan jelas menggambarkan bahwa efektivitas program sangat erat kaitannya dengan dukungan fasilitas serta ekosistem belajar yang kondusif bagi tumbuh kembang rasa ingin tahu dan sikap ilmiah peserta didik.

Walaupun demikian, keunggulan fasilitas dan program di sekolah unggulan tidak otomatis menjamin keberhasilan penanaman karakter ilmiah secara universal. Sebagaimana penelitian yang dilakukan oleh Henseke et al. (2021) menyatakan bahwa faktor aksesibilitas sosial dan ekonomi sangat menentukan siapa yang dapat menikmati program unggulan tersebut. Di Kota Bandung, mayoritas siswa sekolah unggulan berasal dari latar belakang ekonomi menengah ke atas, sehingga dukungan belajar dari rumah pun umumnya sudah tersedia. Sebaliknya, sekolah umum menampung siswa dari

berbagai latar sosial, yang belum tentu mendapatkan dukungan serupa. Karenanya, meskipun desain program di sekolah unggulan tampak lebih efektif, keberhasilannya tetap harus mempertimbangkan konteks sosial dan budaya peserta didik. Program penanaman karakter ilmiah akan lebih bermakna apabila disesuaikan dengan pengalaman hidup siswa serta tantangan lokal yang mereka hadapi. Dengan kata lain, sekolah umum pun tetap memiliki peluang untuk menghasilkan program yang efektif asalkan mampu mengaitkan kurikulum dengan realitas kehidupan siswa, meskipun sumber dayanya terbatas. Dalam konteks ini, tantangan utama bukan pada keberadaan program itu sendiri, melainkan pada desainnya agar tetap kontekstual, relevan, dan mampu membangkitkan semangat ilmiah secara inklusif.

Jika dibandingkan, efektivitas program penanaman karakter ilmiah antara sekolah unggulan dan sekolah umum di Bandung memperlihatkan adanya kesenjangan yang cukup jelas, baik dalam hal sumber daya, pendekatan pedagogis, maupun integrasi nilai global. Sekolah unggulan cenderung memiliki struktur program yang lebih sistematis, guru yang lebih terlatih, dan fasilitas yang lebih lengkap. Akan tetapi, keunggulan ini tidak secara otomatis menjamin hasil yang lebih bermakna secara sosial. Studi penelitian Osman (2024) menegaskan bahwa keberhasilan pendidikan karakter ilmiah sangat dipengaruhi oleh keteladanan, adaptasi lokal, dan partisipasi aktif siswa. Sekolah umum tetap memiliki potensi besar dalam mengembangkan program yang kontekstual dan partisipatif, terutama jika didukung kebijakan afirmatif, pelatihan guru, serta kolaborasi dengan komunitas. Jadi, perbedaan efektivitas ini tidak hanya soal kualitas kurikulum, tetapi juga ditentukan oleh struktur pendukung dan kesadaran kolektif akan pentingnya karakter ilmiah sebagai fondasi pendidikan abad ke-21. Oleh sebab itu, upaya perbaikan ke depan perlu mencakup tidak hanya isi program, tetapi juga aspek aksesibilitas serta pelibatan berbagai pemangku kepentingan pendidikan, agar seluruh siswa baik di sekolah unggulan maupun sekolah umum dapat mengembangkan karakter ilmiah secara merata, kritis, dan berdaya.

## B. Evaluasi Perbedaan Pendekatan dan Hasil

Perbedaan pendekatan antara sekolah unggulan dan sekolah umum dalam penanaman karakter ilmiah jelas tidak sekadar soal kualitas kurikulum atau fasilitas fisik. Landasan filosofis pendidikan yang mereka pegang juga sangat menentukan arah pembelajaran. Sekolah unggulan pada umumnya mengedepankan pendekatan reflektif, kolaboratif, dan diskusi terbuka di ruang kelas. Seperti yang ditunjukkan oleh Bunnell (2022) dalam studi penelitiannya pada sekolah internasional, kurikulumnya memang dirancang untuk membangun kompetensi global dan keterampilan berpikir kritis melalui

interaksi lintas budaya. Sebaliknya, sekolah umum sering kali masih terjebak pada pendekatan pembelajaran konvensional yang berorientasi pada konten, sehingga cenderung hanya fokus pada capaian kognitif. Padahal, karakter ilmiah menuntut keterlibatan aktif siswa dalam diskusi, eksplorasi mandiri, serta praktik etika berpikir ilmiah dalam kehidupan sehari-hari. Selain itu, penelitian Holzer & Daumiller (2025) juga menegaskan bahwa siswa yang belajar dalam lingkungan yang mendukung partisipasi dan saling percaya cenderung memiliki motivasi belajar dan tanggung jawab yang lebih tinggi. Kedua aspek tersebut sangat penting dalam pembentukan karakter ilmiah. Tidak mengherankan apabila pendekatan yang menekankan ekosistem pembelajaran demokratis seperti yang banyak ditemukan di sekolah unggulan lebih efektif dalam membentuk karakter ilmiah dibandingkan pendekatan yang terlalu terpusat pada guru atau sekadar berorientasi pada ujian.

Evaluasi terhadap hasil pendidikan dari kedua jenis sekolah menunjukkan adanya kesenjangan signifikan dalam pencapaian karakter ilmiah siswa, baik secara akademik, sosial, maupun moral. Sekolah unggulan, merujuk penelitian Solone et al. (2020), cenderung mampu membangun lingkungan pembelajaran yang mendukung kolaborasi, pembelajaran lintas disiplin, dan tanggung jawab kolektif, yang merupakan fondasi utama karakter ilmiah. Program pembelajaran kolaboratif di beberapa sekolah Amerika Serikat, misalnya, tidak hanya meningkatkan pemahaman akademik siswa, tetapi juga memperkuat kemampuan mereka dalam memecahkan masalah secara kolektif dan etis. Sementara itu, sekolah umum kerap menghadapi tantangan struktural seperti rasio guru-murid yang tinggi, keterbatasan pelatihan guru dalam pendekatan interdisipliner, dan tekanan administratif untuk memenuhi standar nilai. Dalam penelitiannya, Henseke et al. (2021) juga menyoroti bahwa kesenjangan akses pendidikan bermutu, yang kerap mencerminkan kondisi sosial-ekonomi keluarga, ikut memperlebar perbedaan hasil antara sekolah unggulan dan sekolah umum. Maka, karakter ilmiah tidak hanya dibentuk oleh strategi pedagogis, melainkan juga oleh faktor struktural dan kultural institusi pendidikan.

Aspek lain yang menjadi pembeda utama adalah bagaimana kedua jenis sekolah membangun keteladanan dalam proses pembelajaran. Dalam penelitian Osman (2024), model pendidikan karakter yang efektif di sekolah-sekolah unggulan di Arab Saudi bertumpu pada kehadiran figur teladan, baik guru maupun staf, yang secara konsisten menginternalisasi nilai-nilai ilmiah seperti integritas, objektivitas, dan keterbukaan terhadap kritik. Di sekolah umum, keteladanan ini sering kali tidak terstruktur secara formal dalam program pendidikan. Guru-guru di sekolah umum cenderung terbebani tanggung jawab administratif dan kurikuler yang sempit, sehingga ruang untuk mengembangkan praktik keteladanan yang eksplisit menjadi terbatas. Padahal, menurut Holzer & Daumiller (2025), relasi interpersonal yang saling

percaya antara guru dan murid sangat penting dalam menanamkan nilai-nilai berpikir ilmiah seperti skeptisisme konstruktif dan komitmen pada fakta. Keteladanan dalam praktik sehari-hari, seperti respons guru terhadap pertanyaan kritis atau pengakuan atas kesalahan, merupakan pembelajaran tersendiri bagi siswa dalam menginternalisasi etika ilmiah. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas pendekatan di sekolah unggulan tidak hanya berasal dari kebijakan, tetapi juga dari kultur profesionalisme yang dibangun secara sistemik dalam praktik sehari-hari. Singkatnya, pendidikan karakter ilmiah tidak hanya berkutat pada teori atau kurikulum, melainkan juga sangat dipengaruhi oleh suasana kelas, latar belakang sosial, hingga praktik sehari-hari di lingkungan sekolah.

Evaluasi keberhasilan program pendidikan karakter ilmiah jelas harus mempertimbangkan konteks sosial-budaya unik di setiap sekolah. Studi penelitian Chandir & Blackmore (2024) di Victoria, Australia, menekankan bahwa pendekatan berbasis kompetensi global efektif dalam membentuk kemampuan siswa berpikir lintas perspektif sebuah aspek krusial dalam penguatan karakter ilmiah. Sekolah unggulan relatif lebih siap menerapkan pendekatan ini, didukung oleh struktur organisasi yang fleksibel, kurikulum berbasis proyek, serta akses luas ke sumber daya global. Sebaliknya, sekolah umum masih dihadapkan pada berbagai kendala struktural, baik dari sisi keterbatasan otonomi kurikulum maupun akses sumber daya, sehingga implementasi praktik pedagogis kontekstual dan dialog antarbudaya kerap tidak optimal. Padahal, di tengah perkembangan globalisasi dan kemajuan AI, kemampuan berpikir ilmiah sangat erat kaitannya dengan kecakapan global serta sensitivitas terhadap kompleksitas persoalan sosial. Evaluasi hasil program pada kedua tipe sekolah tersebut memperlihatkan bahwa pendekatan yang menempatkan siswa sebagai agen pembelajar aktif sekaligus anggota komunitas global cenderung lebih berhasil menumbuhkan karakter ilmiah secara menyeluruh. Karenanya, sangat penting bagi pengambil kebijakan untuk menilai efektivitas pendekatan ini secara lintas kontekstual, tidak hanya dari segi nilai, tetapi juga dari proses transformasi pembelajaran yang terjadi.

Perbedaan pendekatan dan hasil pendidikan karakter ilmiah juga tampak dalam penanganan isu-isu sosial kontemporer di kelas. Dalam hal ini, Studi penelitian yang dilakukan oleh Sakamoto et al. (2021) terkait intervensi pengambilan keputusan siswa dalam isu sosial-ilmiah menunjukkan bahwa siswa yang terlibat dalam konsensus dan diskusi terbuka mengalami peningkatan signifikan dalam berpikir kritis serta refleksi moral. Sekolah unggulan lebih siap mengadopsi pola seperti ini karena didukung oleh kebijakan dan budaya sekolah yang mendorong dialog serta refleksi. Sebaliknya, sekolah umum seringkali kekurangan ruang kurikuler untuk membahas isu sosial secara mendalam, akibat standar nasional yang ketat. Padahal, pembentukan karakter ilmiah sangat membutuhkan konteks nyata

untuk mendorong keterlibatan afektif dan kognitif siswa secara menyeluruh. Dalam konteks ini, sekolah unggulan yang adaptif terhadap perubahan sosial terbukti lebih relevan membentuk scientific citizenship yakni individu yang tidak hanya mampu berpikir ilmiah, tetapi juga memiliki komitmen etis dalam penerapan ilmu pengetahuan. Maka, evaluasi pendidikan karakter ilmiah tidak dapat dipisahkan dari sejauh mana pendekatan pedagogis di sekolah mampu mengaitkan sains dengan realitas sosial yang dinamis.

Pendekatan sekolah unggulan terhadap pembentukan karakter ilmiah umumnya menitikberatkan pada strategi pembelajaran kolaboratif dan lintas disiplin dan ini terbukti meningkatkan daya analitis serta keterampilan reflektif siswa dalam menghadapi masalah nyata. Sekolah-sekolah unggulan tidak hanya berfokus pada pemenuhan kurikulum, tetapi juga aktif memfasilitasi pengalaman belajar berbasis proyek dan isu sosial-ilmiah yang menantang nalar kritis siswa. Sebaliknya, sekolah umum masih banyak yang terikat pada sistem pembelajaran konvensional berorientasi penguasaan konten, sehingga peluang pengembangan karakter ilmiah menjadi terbatas. Studi penelitian Sakamoto et al. (2021) juga menegaskan bahwa siswa yang dibimbing melalui pendekatan deliberatif berbasis isu sosial-ilmiah menunjukkan kemampuan lebih baik dalam membangun konsensus, berpikir reflektif, serta menimbang berbagai argumen secara konstruktif. Sementara itu, siswa di sekolah umum kerap menghadapi kesulitan dalam menginternalisasi keterampilan ini karena kurangnya praktik pembelajaran yang berfokus pada penalaran dan eksplorasi terbuka. Perbedaan pendekatan ini menunjukkan bahwa model pendidikan di sekolah unggulan memiliki potensi lebih besar dalam mananamkan karakter ilmiah yang menuntut keterampilan reflektif, empatik, dan berbasis bukti. Oleh karena itu, struktur dan filosofi pendidikan di sekolah unggulan menempatkan mereka pada posisi strategis untuk menghasilkan generasi pelajar yang tidak hanya unggul secara akademis, tetapi juga siap menghadapi kompleksitas realitas kontemporer dengan fondasi berpikir ilmiah yang kuat (Sakamoto et al., 2021).

Penilaian terhadap perbedaan hasil pendidikan antara sekolah unggulan dan sekolah umum memang menunjukkan adanya *gap* yang cukup jelas, terutama dari sisi iklim kelas. Di sekolah unggulan, suasana kelas jauh lebih kondusif siswa cenderung lebih percaya diri, bertanggung jawab, dan mandiri. Tiga aspek ini sangat krusial dalam pembentukan karakter ilmiah. Sebagaimana Holzer & Daumiller (2025) dalam penelitiannya juga menekankan, kepercayaan timbal-balik antara guru dan siswa di sekolah unggulan mampu menciptakan interaksi pembelajaran yang otentik. Jadi, siswa merasa lebih aman untuk bertanya, tidak takut salah, bahkan aktif dalam diskusi berbasis bukti. Sementara itu, di sekolah umum, sering kali ada kendala seperti keterbatasan waktu, jumlah siswa yang banyak, dan tekanan administratif yang membuat ruang eksplorasi jadi sempit. Iklim kelas yang

berbeda ini tentu berdampak langsung pada kualitas hasil belajar siswa. Karakter ilmiah sulit berkembang jika suasana kelas terlalu birokratis atau represif, sebab diperlukan kebebasan akademik dan keterbukaan terhadap gagasan alternatif. Karena itulah, sekolah unggulan relatif lebih mampu menghadirkan kondisi psikososial yang mendukung tumbuhnya kebiasaan berpikir ilmiah sebagai bagian dari identitas pembelajar (Holzer & Daumiller, 2025).

Selain pembelajaran dan iklim kelas, sistem manajemen pendidikan di sekolah unggulan juga menjadi faktor pembeda. Temuan penelitian Solone et al. (2020) menegaskan, sekolah yang sukses membangun budaya kolaboratif antara pendidik, staf, dan siswa, biasanya juga mampu melahirkan praktik pembelajaran inovatif dan berkelanjutan. Dalam pengembangan karakter ilmiah, kolaborasi efektif ini mendorong keterbukaan terhadap umpan balik, penyesuaian kurikulum yang dinamis, serta partisipasi aktif siswa dalam proses pembelajaran. Sementara itu, sekolah umum masih kerap menghadapi tantangan dalam membangun komunikasi yang inklusif dan reflektif di antara berbagai pihak. Sistem manajemen yang sentralistik dan kurang fleksibel menyebabkan inovasi pedagogis sulit dilakukan secara konsisten. Imbasnya, pengembangan karakter ilmiah di sekolah umum belum merata. Lingkungan pendidikan yang mendukung partisipasi dan kepemilikan bersama atas proses pembelajaran terbukti menjadi kunci pembentukan karakter ilmiah yang kokoh, seperti terlihat pada praktik sekolah kolaboratif di Amerika Serikat (Solone et al., 2020). Maka, pendekatan manajerial yang partisipatif dan reflektif seharusnya menjadi standar di institusi pendidikan yang berorientasi pada penguatan nilai-nilai ilmiah.

Meski demikian, keunggulan sekolah unggulan tidak lepas dari faktor struktural, khususnya terkait akses terutama dari sisi latar belakang sosial ekonomi siswa. Dalam hal ini, studi penelitian Henseke et al. (2021) mengungkapkan bahwa akses ke sekolah unggulan cenderung didominasi oleh siswa dari keluarga kelas menengah atas, sehingga memunculkan ketimpangan sistemik dalam pengembangan karakter ilmiah di kalangan siswa. Sekolah umum, yang mayoritas siswanya berasal dari kelompok berpenghasilan rendah, sering kekurangan sumber daya untuk mengembangkan program seefektif sekolah unggulan. Kondisi ini memperlebar jurang hasil pendidikan, yang sebenarnya tidak hanya disebabkan oleh pendekatan pedagogis, tetapi juga ketimpangan distribusi sumber daya. Karena itu, evaluasi terhadap perbedaan pendekatan dan hasil pendidikan perlu mempertimbangkan secara kritis dimensi sosial-ekonomi yang melekat pada akses pendidikan berkualitas. Reformasi sistemik diperlukan agar prinsip karakter ilmiah tidak menjadi eksklusif, melainkan dapat diakses oleh seluruh siswa tanpa memandang latar belakang sosial (Henseke et al., 2021).

Jika membahas sekolah internasional, memang sudah sangat tampak bahwa pendekatan mereka yang eksploratif, lintas budaya, dan menekankan kompetensi global benar-benar memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan karakter ilmiah siswa. Seperti yang disampaikan Bunnell (2022) dalam studi penelitiannya, pertumbuhan sekolah internasional yang dikenal dengan istilah “*crypto-growth*” bukan hanya sekadar cerminan globalisasi pendidikan, melainkan juga memperlihatkan bagaimana pendekatan transnasional itu sendiri mampu membentuk karakter dan keterampilan abad ke-21. Di lingkungan sekolah internasional, siswa didorong untuk berpikir melampaui batas-batas nasional, memahami beragam perspektif, dan menilai informasi secara kritis bukan hanya sekadar menghafal. Tidak dapat dipungkiri, pendekatan semacam ini memang sulit diadopsi sepenuhnya oleh sekolah umum dalam negeri, terutama karena keterbatasan kurikulum nasional. Namun, semangat fleksibilitas dan adaptasi yang diusung oleh sekolah internasional patut dijadikan inspirasi dalam merancang program yang lebih kontekstual. Evaluasi terhadap hasil pendidikan juga menunjukkan, keterbukaan pada pengalaman belajar global dapat memperkuat karakter ilmiah siswa melalui pemahaman lintas budaya, toleransi, dan refleksi diri yang mendalam. Oleh karena itu, transformasi pendidikan karakter ilmiah di sekolah umum dapat meniru semangat adaptif dari sekolah internasional, dengan tetap memperhatikan konteks lokal yang inklusif (Bunnell, 2022).

Dalam menilai perbedaan hasil antara sekolah unggulan dan sekolah umum, konsistensi lingkungan belajar menjadi aspek yang sangat penting dalam mendukung pengembangan karakter ilmiah secara berkelanjutan. Sekolah unggulan cenderung mampu menjaga kesinambungan program karakter, sebab didukung oleh sistem manajemen yang kuat dan pengawasan internal yang ketat. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian Solone et al. (2020) yang menekankan pentingnya kolaborasi institusional serta struktur profesional demi memastikan efektivitas program pendidikan. Sementara itu, di sekolah umum, program karakter sering kali terfragmentasi akibat pergantian kepemimpinan, keterbatasan pelatihan guru, serta tekanan kurikulum yang tidak konsisten. Akibatnya, implementasi nilai-nilai ilmiah seperti skeptisme, verifikasi data, dan pemikiran reflektif menjadi kurang menyeluruh. Terkadang memang ada guru yang berinisiatif, tetapi pengaruhnya tidak menjangkau seluruh institusi. Berbeda dengan sekolah unggulan yang didukung oleh kelembagaan serta pelatihan guru berbasis kompetensi ilmiah, sehingga integrasi nilai-nilai karakter dapat berlangsung lintas mata pelajaran. Konteks kelembagaan inilah yang menjadi pembeda utama dan menciptakan perbedaan hasil antara sekolah unggulan dan sekolah umum dalam membentuk pemahaman maupun perilaku ilmiah peserta didik.

Faktor lingkungan sosial sekolah juga berperan besar dalam menciptakan perbedaan hasil pendidikan karakter ilmiah. Sekolah unggulan umumnya menyediakan lingkungan sosial yang kondusif untuk diskursus akademik, argumentasi logis, serta budaya saling menghormati. Holzer & Daumiller (2025) dalam penelitiannya menegaskan bahwa kepercayaan interpersonal dan hubungan positif antara guru dan siswa menjadi fondasi utama dalam menumbuhkan keberanian berpikir kritis serta eksploratif. Sebaliknya, sekolah umum seringkali menghadapi hambatan dalam membangun relasi pedagogis yang mendalam, baik karena tekanan administratif, jumlah siswa yang besar, maupun kurangnya pelatihan manajemen afektif. Lingkungan yang kurang mendukung ini menghambat keberanian siswa dalam menyampaikan ide, berdiskusi ilmiah, dan mengembangkan kemandirian berpikir. Implikasinya, capaian karakter ilmiah siswa pun berbeda. Sekolah unggulan lebih berhasil membentuk generasi pembelajar yang tidak hanya unggul secara akademik, tetapi juga memiliki keberanian intelektual untuk menguji ide secara terbuka dan reflektif. Sementara itu, sekolah umum cenderung menghasilkan siswa yang hanya mengikuti instruksi tanpa membangun kerangka pikir ilmiah yang mandiri.

Evaluasi keberhasilan program pendidikan karakter ilmiah sebenarnya tidak hanya diukur dari capaian kognitif siswa, tetapi juga dari bagaimana institusi mampu mengembangkan kompetensi global serta kecakapan abad-21. Sekolah unggulan umumnya merancang kurikulum secara strategis bukan sekadar formalitas dengan mengintegrasikan karakter ilmiah ke dalam isu-isu global lewat pendekatan lintas disiplin dan pembelajaran berbasis masalah. Sebagaimana studi penelitian Chandir & Blackmore (2024) menegaskan bahwa sekolah-sekolah dengan kurikulum internasional atau lokal yang adaptif dapat menciptakan ruang diskusi tentang isu-isu sains sosial global, seperti perubahan iklim atau bioteknologi, sehingga siswa terdorong untuk mengambil posisi ilmiah yang didasarkan pada argumen rasional. Sebaliknya, sekolah umum masih cenderung terjebak pada pembelajaran tematik yang terpisah dan kurang relevan terhadap tantangan global saat ini. Akibatnya, siswa di sekolah umum lebih sulit memahami urgensi penerapan nilai-nilai ilmiah dalam kehidupan sehari-hari. Evaluasi ini menunjukkan bahwa meskipun kedua tipe sekolah secara normatif menggunakan kurikulum nasional yang sama, sekolah unggulan memiliki kapasitas yang lebih baik dalam mengadaptasi dan memodifikasi pendekatan kurikuler. Hal ini menjadikan sekolah unggulan lebih efektif dalam menanamkan kesadaran ilmiah global yang terinternalisasi dalam karakter siswa.

Berdasarkan perspektif akses dan keadilan pendidikan, perbedaan hasil antara sekolah unggulan dan sekolah umum memang patut dikaji secara kritis. Akses terhadap pendidikan berkualitas yang menjadi ciri khas sekolah unggulan sangat dipengaruhi oleh kondisi ekonomi, latar belakang sosial, dan

jaringan keluarga siswa. Penelitian Henseke et al. (2021) menyoroti bahwa faktor kekayaan keluarga dan kepemilikan rumah menjadi penentu utama akses siswa ke sekolah swasta atau unggulan di Inggris, dan pola serupa tampak terjadi di banyak negara lain. Ketimpangan ini menyebabkan keunggulan karakter ilmiah hanya terdistribusi pada kelompok siswa tertentu, dan memperlebar jurang prestasi antarkelompok sosial. Di sisi lain, sekolah umum harus menghadapi keterbatasan dana, beban manajemen, serta ekspektasi masyarakat yang beragam. Evaluasi atas kondisi ini memperlihatkan bahwa keunggulan karakter ilmiah di sekolah unggulan tidak hanya mencerminkan keunggulan pedagogis, tetapi juga hasil dari ketimpangan struktural dalam sistem pendidikan. Maka, strategi peningkatan kualitas pendidikan perlu mempertimbangkan distribusi sumber daya agar karakter ilmiah tidak menjadi hak istimewa kelompok tertentu saja.

Sebagai penutup, dapat disimpulkan bahwa perbedaan pendekatan antara sekolah unggulan dan sekolah umum dalam menanamkan karakter ilmiah telah menghasilkan kesenjangan hasil yang nyata, baik secara kognitif, afektif, maupun sosial. Keunggulan sekolah unggulan tidak hanya dipengaruhi oleh metode pembelajaran atau kurikulum yang lebih baik, tetapi juga merupakan hasil interaksi antara faktor struktural, kultural, dan sosial yang saling menguatkan. Sementara itu, sekolah umum menghadapi tantangan sistemik yang kompleks sehingga membutuhkan intervensi kebijakan jangka panjang. Dalam konteks ini, gagasan Grey & Morris (2024) mengenai urgensi rekonstruksi kreativitas serta keterampilan abad-21 sangat relevan sebagai bagian dari visi pendidikan nasional yang lebih merata. Jika negara berkomitmen agar seluruh siswa, tanpa memandang latar belakang dan jenis sekolah, dapat mengakses pendidikan karakter ilmiah yang berkualitas, maka reformasi harus dimulai dari kebijakan distribusi anggaran, pengembangan kapasitas guru, hingga penciptaan lingkungan belajar yang mendorong keingintahuan, berpikir reflektif, dan partisipasi aktif. Evaluasi semacam ini membuka ruang diskusi menuju sistem pendidikan yang lebih adil dan berkelanjutan dalam membentuk generasi ilmiah di era AI dan globalisasi.

## BAB X

# REFLEKSI SISWA TERHADAP PEMBELAJARAN BERBASIS AI DAN KARAKTER ILMIAH

### A. Pengalaman Siswa dalam Pembelajaran Inovatif

Transformasi pembelajaran melalui integrasi kecerdasan buatan (AI) dan penanaman karakter ilmiah telah benar-benar menggeser lanskap pendidikan kontemporer. Banyak siswa menyampaikan bahwa pembelajaran berbasis AI tidak hanya mempercepat akses ke informasi, tetapi juga secara signifikan mendorong mereka untuk berpikir lebih kritis, terstruktur, dan reflektif. Misalnya, dalam proyek pemetaan pengetahuan berbantuan AI, siswa menjadi lebih sadar akan pentingnya struktur logika, keterkaitan antar konsep, serta dampak argumen yang mereka kembangkan (Okada, 2025). Penggunaan alat seperti *knowledge cartography* memungkinkan siswa berperan aktif dalam membangun pengetahuan berbasis data dan nilai, bukan sekadar menjadi pengguna pasif AI. Proses ini secara nyata memperkuat karakter ilmiah seperti skeptisme sehat, kejujuran intelektual, dan ketekunan dalam pencarian kebenaran. Pengalaman-pengalaman tersebut memperlihatkan bahwa siswa tidak hanya belajar dari AI, melainkan juga berdialog secara kognitif dengan AI, sehingga memperkaya pemahaman mereka tentang realitas. Edwards & Straker (2025) pun menegaskan bahwa keterlibatan anak-anak dengan teknologi digital sebaiknya dipandang sebagai momen pembentukan agensi belajar dan pemikiran kritis, bukan sekadar adaptasi terhadap alat baru. Refleksi siswa membuktikan bahwa ketika teknologi ditempatkan dalam kerangka pembelajaran yang bermakna dan etis, pengalaman mereka melampaui aspek teknis dan turut membentuk karakter intelektual yang lebih mendalam.

Banyak siswa pula menggambarkan pengalaman belajar inovatif ini sebagai proses yang menggabungkan eksplorasi digital dengan dorongan untuk mengajukan pertanyaan mendalam. Dalam kurikulum yang mengintegrasikan AI dan karakter ilmiah, siswa didorong untuk tidak menerima informasi secara mentah, melainkan menganalisis keakuratan dan keberpihakan data tersebut. Menurut pandangan Guarcello & Longo (2024), pendekatan pedagogis yang estetik dalam memperkenalkan AI mampu menumbuhkan relasi kritis antara pengalaman sensorik dan nalar ilmiah. Siswa yang mengikuti pembelajaran ini merasa lebih terdorong untuk memahami secara mendalam, bukan sekadar mengetahui. Mereka mulai mempertanyakan cara kerja algoritma, siapa yang merancangnya, serta implikasi sosial dari penerapannya. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran AI berbasis karakter ilmiah menanamkan kesadaran epistemologis sejak dini.

Selain itu, John (2025) juga menegaskan bahwa pendidikan berkelanjutan abad ke-21 harus menumbuhkan literasi teknologi dan keberlanjutan secara bersamaan, dan pengalaman siswa di lingkungan ini menunjukkan keterpaduan kedua aspek tersebut. Akhirnya, pengalaman siswa tidak berhenti pada interaksi teknis, tetapi berkembang menjadi pengalaman moral dan reflektif yang mendukung pertumbuhan karakter berpikir ilmiah. AI bagi siswa hadir bukan sekadar sebagai alat, melainkan juga sebagai objek kritik, refleksi, dan etika.

Beberapa siswa juga mencatat bahwa pembelajaran berbasis AI mengubah dinamika hubungan mereka dengan guru dan teman sekelas. Di satu sisi, AI memungkinkan personalisasi pembelajaran sehingga otonomi belajar siswa semakin kuat. Namun, di sisi lain, pendekatan ini juga mendorong kolaborasi yang lebih mendalam dalam merumuskan masalah dan mencari solusi bersama. Dalam hal ini, von Braun et al. (2021) berpendapat bahwa AI dalam pendidikan idealnya tidak hanya berperan dalam meningkatkan efisiensi teknis, tetapi juga memperkaya dimensi sosial-kognitif pembelajaran. Siswa melaporkan bahwa ketika mereka bekerja dalam tim dengan platform AI untuk menyelesaikan masalah nyata seperti isu lingkungan atau sosial mereka merasa lebih bertanggung jawab dan terlibat. Mereka tidak hanya belajar tentang cara kerja teknologi, tetapi juga mengenai kerja sama dalam ekosistem digital yang menuntut koordinasi, empati, serta keterbukaan terhadap ide-ide orang lain. Pengalaman ini berdampak pada penguatan karakter ilmiah seperti kolaboratif, terbuka terhadap kritik, dan mampu merumuskan argumen rasional. Edwards & Straker (2025) juga menekankan bahwa proses belajar anak di era digital seharusnya bersifat intersubjektif, bukan semata-mata individual. Pengalaman siswa memperkuat pandangan tersebut: teknologi tidak menggantikan guru, melainkan menggeser peran guru menjadi fasilitator etika, pengarah dialog, serta penjaga nilai-nilai ilmiah dalam proses pembelajaran. Maka dari itu, hal ini membentuk pemahaman siswa bahwa peran teknologi dalam pendidikan idealnya sebagai mitra kolaboratif, bukan sekadar instrumen mekanis.

Refleksi siswa terhadap pembelajaran inovatif berbasis AI menunjukkan dinamika emosional yang cukup rumit. Ada yang benar-benar kagum AI bisa menjawab pertanyaan dengan kecepatan dan akurasi tinggi, kadang melebihi ekspektasi siswa sendiri. Tapi, di sisi lain juga ada yang merasa kewalahan, bingung, bahkan takut. Kerap muncul perasaan bahwa AI ini “lebih pintar” dari mereka. Sebagaimana Klimczak & Petersen (2023) sudah menyampaikan bahwa interaksi manusia dan AI di dunia pendidikan memang memicu ketegangan antara efisiensi dan eksistensi, otomatisasi dan otonomi manusia. Di lapangan, siswa membuktikan bahwa ketegangan ini nyata: mereka merasa harus belajar lebih keras agar tidak tertinggal oleh AI, sambil pelan-pelan mulai merenung tentang peran unik manusia dalam berpikir, merasakan, dan

bertindak secara etis. Di titik inilah pentingnya penanaman karakter ilmiah dengan memperkuat sikap kritis, rasa ingin tahu, dan empati, siswa dapat melihat interaksi dengan AI bukan sebagai kompetisi, melainkan sebagai peluang memperluas wawasan. Okada (2025) bahkan menyebut AI sebagai “peta intelektual” yang dapat menuntun siswa menjelajahi dunia pemikiran, selama pendidik mampu mengarahkan penggunaan teknologi dalam kerangka humanistik dan ilmiah. Jadi, refleksi siswa atas pengalaman emosional mereka membuka ruang untuk mendefinisikan ulang hubungan manusia dengan teknologi hubungan yang lebih reflektif, bukan sekadar deterministik.

Pada pembelajaran berbasis karakter ilmiah, siswa juga merefleksikan pengalaman yang menumbuhkan kesadaran sosial dan tanggung jawab moral sebagai pengguna teknologi. Melalui kegiatan analisis bias algoritmik, keterbatasan data, dan dampak sosial AI, siswa semakin peka terhadap isu keadilan, kesetaraan, serta etika digital. Secara tegas, Guarcello & Longo (2024) menegaskan bahwa pengalaman estetik dengan AI tidak hanya bersifat kognitif, tetapi juga menampilkan dimensi afektif dan etis. Studi kasus, misalnya tentang dampak AI dalam pengawasan digital atau sistem rekomendasi, membantu siswa memahami bahwa teknologi tidak pernah sepenuhnya netral. Refleksi mereka memperlihatkan bahwa pembelajaran yang melibatkan dimensi moral dapat memperkuat karakter ilmiah seperti integritas dan tanggung jawab. Lalu, John (2025) juga menekankan pentingnya pendidikan berkelanjutan yang menempatkan etika sebagai fondasi utama pemikiran global abad ke-21. Maka, pengalaman siswa dalam pembelajaran inovatif ini menunjukkan proses internalisasi nilai-nilai ilmiah yang berlaku tidak hanya di kelas, namun juga dalam kehidupan sehari-hari. AI tidak sebatas alat bantu belajar, melainkan jendela untuk memahami kompleksitas dunia dan posisi manusia di dalamnya.

Banyak siswa mengakui keterlibatan dalam pembelajaran AI yang terintegrasi dengan karakter ilmiah telah mengubah cara mereka memahami dunia dan menilai kebenaran. Proses perubahan ini tidak instan, melainkan berkembang sejalan dengan interaksi mereka dengan materi, alat digital, dan kegiatan pemecahan masalah. Sebagaimana John (2025) mencatat bahwa ketika siswa diberi ruang untuk mempertanyakan, mengevaluasi, dan merefleksikan dampak sosial teknologi, mereka berkembang tidak hanya secara kognitif, tetapi juga secara moral dan etis. Hal ini tampak pada siswa yang terlibat dalam proyek kolaboratif menggunakan *knowledge cartography*, di mana mereka melihat keterkaitan isu global dan lokal melalui perspektif sistemik (Okada, 2025). Dalam konteks ini, karakter ilmiah seperti ketelitian, keberanian intelektual, dan keterbukaan pada data baru tidak lagi sekadar abstraksi, tetapi menjadi bagian dari praktik pembelajaran sehari-hari. Siswa pun semakin percaya diri dalam mengemukakan pendapat berbasis bukti serta mampu menerima koreksi dengan semangat belajar yang tinggi. Refleksi ini

memperlihatkan bahwa integrasi AI dengan pendidikan karakter ilmiah menghasilkan perubahan pola pikir yang mendalam, bukan sekadar peningkatan keterampilan digital. Siswa tidak hanya menjadi pengguna AI, tetapi juga kritis dan penilai teknologi dengan tanggung jawab sosial dan intelektual.

Salah satu pengalaman paling menonjol yang dialami siswa dalam pembelajaran inovatif ini adalah munculnya kesadaran bahwa teknologi, khususnya AI, tidak sepenuhnya netral. Mereka mulai memahami bahwa setiap alat, termasuk AI, membawa nilai-nilai tertentu yang harus dipertimbangkan dan dikaji secara kritis. Seperti yang diungkapkan oleh Guarcello & Longo (2024), ketika siswa diperkenalkan pada pengalaman estetis melalui interaksi dengan teknologi misalnya dalam menciptakan narasi visual berbasis AI atau menyusun simulasi interaktif mereka tidak sekadar menggunakan AI untuk menyelesaikan tugas, tetapi juga merefleksikan makna serta dampaknya. Beberapa siswa menyatakan bahwa pembelajaran seperti ini membuka wawasan mereka terhadap kemungkinan bias dan ketimpangan yang tertanam dalam algoritma yang tampak objektif. Pengalaman ini menjadi titik awal tumbuhnya kepekaan etis terhadap sains dan teknologi, sekaligus mengembangkan empati dalam menilai dampak sosial dari inovasi digital. Dalam praktiknya, siswa menunjukkan bahwa pemahaman kritis ini memengaruhi cara mereka berinteraksi dengan teknologi sehari-hari, seperti dalam memilih sumber informasi atau mempertanyakan keputusan yang dihasilkan oleh sistem berbasis AI. von Braun et al. (2021) juga menekankan pentingnya dimensi kemanusiaan dalam pengajaran AI, dan pengalaman para siswa ini memperlihatkan bahwa dimensi tersebut dapat dibangun melalui pedagogi reflektif. Alhasil, pembelajaran berbasis AI yang mengandung unsur karakter ilmiah dapat mendorong kesadaran etis, tidak sekadar penguasaan keterampilan teknis.

Selanjutnya, pengalaman siswa memperlihatkan bahwa keterlibatan dalam pembelajaran AI berbasis karakter ilmiah turut memperkuat otonomi belajar mereka. Banyak siswa menyampaikan bahwa pendekatan pembelajaran ini mendorong mereka untuk mencari pengetahuan secara mandiri, merumuskan pertanyaan kritis, serta mengembangkan rasa ingin tahu yang berkelanjutan. Hal ini sebagaimana Edwards & Straker (2025) menyoroti pentingnya pengalaman otonomi ini dalam membangun kepercayaan diri siswa di era digital yang dinamis. Dalam wawancara reflektif, sejumlah siswa mengemukakan bahwa mereka merasa lebih mengontrol proses pembelajaran, berbeda dengan pendekatan tradisional yang menekankan hafalan serta pengulangan informasi. Siswa menjadi lebih aktif dalam mencari literatur, memanfaatkan alat digital untuk memvalidasi data, serta mendiskusikan temuan mereka secara terbuka dan argumentatif di forum kelas. Proses ini menunjukkan bahwa penanaman karakter ilmiah seperti kesungguhan dalam

mencari bukti dan kerendahan hati ilmiah dalam menerima kesalahan mampu menumbuhkan pola belajar yang lebih mandiri dan tahan uji. Temuan ini sejalan dengan pandangan Klimczak & Petersen (2023) yang menegaskan bahwa pemahaman mengenai batas dan potensi AI merupakan salah satu kompetensi kunci abad ke-21, yang perlu dikembangkan sejak dini melalui pendekatan yang kritis, reflektif, dan berbasis karakter.

Akan tetapi, tidak semua pengalaman siswa berjalan tanpa hambatan. Sebagian siswa mengungkapkan bahwa pembelajaran inovatif ini menghadirkan tantangan tersendiri, terutama terkait kompleksitas tugas, tekanan berpikir kritis, serta keharusan beradaptasi dengan teknologi yang terus berkembang. Refleksi siswa menunjukkan bahwa, meskipun mereka merasa tertantang secara intelektual, kadangkala mereka juga merasa kewalahan oleh tuntutan untuk terus menganalisis dan mengkritisi berbagai informasi serta keluaran AI. Seperti disampaikan John (2025), transformasi pendidikan berbasis AI dan karakter ilmiah memang memerlukan sistem pendukung yang kuat, baik dari sisi pedagogis maupun infrastruktur. Ketika siswa tidak memperoleh pendampingan yang memadai atau ketika alat digital tidak sepenuhnya mendukung proses pembelajaran, muncul rasa frustrasi. Akan tetapi, pengalaman menghadapi kesulitan ini justru menjadi lahan subur bagi tumbuhnya ketahanan belajar (*resiliensi*) dan karakter ilmiah yang tangguh. Banyak siswa menyadari bahwa kegagalan atau kesulitan bukanlah akhir dari proses belajar, melainkan bagian dari pencarian makna yang lebih mendalam. Pandangan ini sejalan dengan pendapat von Braun et al. (2021), yang menegaskan bahwa salah satu nilai utama dari integrasi AI dalam pendidikan adalah kemampuannya membentuk individu yang tidak hanya kompeten secara teknologi, tetapi juga memiliki ketahanan moral serta daya reflektif yang tinggi dalam menghadapi tantangan dunia modern.

Refleksi mengenai pengalaman siswa dengan pembelajaran berbasis AI benar-benar menunjukkan bahwa kehadiran teknologi saat ini telah melampaui sekadar alat bantu; ia telah menjadi medium utama yang membentuk cara berpikir siswa. Banyak siswa melaporkan bahwa interaksi mereka dengan perangkat dan aplikasi AI mendorong mereka untuk mengembangkan pemikiran reflektif bukan sekadar menghafal dan mengulang materi. Mereka menyadari, pemahaman terhadap materi saja tidak memadai; mereka dituntut untuk merekonstruksi informasi dalam konteks baru, menciptakan sintesis yang menandakan pemahaman yang lebih mendalam. Hal ini sejalan dengan penekanan Edwards & Straker (2025) yang menyatakan bahwa di era digital pengalaman belajar siswa berubah dari pasif-konsumtif menjadi aktif-konstruktif, karena siswa didorong untuk terlibat langsung dalam produksi makna. Lebih lanjut, AI turut mengubah dinamika ruang belajar dari komunikasi satu arah menuju interaksi dialogis. Siswa merasa mendapatkan ruang yang lebih terbuka untuk bertanya, menguji

hipotesis, bahkan menantang ide-ide dominan, sehingga karakter ilmiah mereka semakin berkembang. Pandangan ini sejalan dengan pendapat John (2025) yang menegaskan bahwa pembelajaran abad ke-21 seharusnya memfasilitasi ruang eksploratif dan kontemplatif sebagai bagian dari pendekatan holistik terhadap ilmu pengetahuan dan teknologi. Refleksi siswa juga menunjukkan bahwa pembelajaran inovatif berbasis AI memberikan peluang untuk mengalami pengetahuan sebagai sesuatu yang terbuka, dapat dinegosiasikan, dan tumbuh seiring pengalaman.

Pengalaman lain yang diungkapkan siswa menyoroti bahwa integrasi AI dalam pendidikan apabila dikombinasikan dengan nilai-nilai karakter ilmiah membantu mereka memahami keberagaman perspektif dalam menyelesaikan persoalan kompleks. Jawaban tidak dipandang sebagai sesuatu yang tunggal, melainkan sebagai hasil dari proses analisis, kolaborasi, dan pertimbangan etis. Proses ini memperkuat pentingnya berpikir kritis dan empati. Hal ini seperti disampaikan Guarcello & Longo (2024), pengalaman estetik dalam mempelajari teknologi mendorong siswa untuk mengembangkan sensitivitas terhadap dimensi sosial dan humanistik ilmu pengetahuan. Hal ini tampak ketika siswa mulai mempertanyakan dampak penggunaan AI terhadap keadilan sosial, privasi, dan potensi bias algoritmik. Siswa yang sebelumnya hanya melihat aspek teknis kini menunjukkan kesadaran reflektif yang lebih mendalam. Dalam konteks ini, pengembangan karakter ilmiah seperti keterbukaan terhadap kritik, integritas penilaian data, dan tanggung jawab terhadap dampak ilmu menjadi bagian penting dalam pengalaman belajar. John (2025) turut menegaskan bahwa pendidikan inovatif terjadi ketika siswa tidak sekadar memahami konten, tetapi juga menginternalisasi nilai-nilai ilmiah sebagai bagian dari identitas diri mereka.

Refleksi siswa terhadap proses belajar ini juga menampilkan pengalaman yang lebih personal dan kontekstual. Melalui pembelajaran berbasis AI, banyak siswa merasa dapat belajar sesuai kecepatan dan pendekatan yang cocok dengan gaya belajar masing-masing. Mereka dapat mengulang materi, mengeksplorasi sumber tambahan, serta menguji ide melalui simulasi dan pemodelan digital. Dalam hal ini, Edwards & Straker (2025) menegaskan bahwa teknologi digital menghadirkan fleksibilitas dan personalisasi pembelajaran yang sulit dicapai dalam model konvensional. Namun, refleksi siswa tidak hanya menyoroti kenyamanan dalam belajar, melainkan juga meningkatnya rasa tanggung jawab terhadap proses pembelajaran mereka sendiri. Mereka merasa lebih memiliki proses belajar karena dapat memilih metode yang paling sesuai, sekaligus terdorong untuk bertanggung jawab atas kemajuan pribadi. Dalam konteks ini, karakter ilmiah seperti kemandirian, rasa ingin tahu yang tinggi, dan orientasi pada proses semakin terasah. Siswa tidak lagi sepenuhnya bergantung pada guru sebagai pusat informasi, melainkan memandang guru sebagai fasilitator dalam

perjalanan intelektual mereka. Demikian pula Okada (2025) turut menegaskan bahwa kartografi pengetahuan digital memungkinkan siswa memetakan sendiri jalur pengetahuan mereka dan membangun makna secara mandiri.

Akhir dari pengalaman para siswa ini jelas menunjukkan adanya transformasi yang signifikan, bukan hanya dalam metode belajar mereka, tetapi juga dalam cara mereka memandang posisi sebagai individu pembelajar di tengah masyarakat yang kompleks dan dinamis. Banyak siswa mengungkapkan bahwa keterlibatan dalam pembelajaran berbasis AI dengan nilai-nilai karakter ilmiah membuat mereka lebih siap menghadapi tantangan dunia nyata, sebab mereka terbiasa berpikir kritis dan bertindak secara bertanggung jawab. Selain itu, mereka juga mengembangkan ketahanan intelektual dalam menghadapi ketidakpastian, sekaligus mengasah keterampilan sosial untuk berkolaborasi lintas disiplin dan latar belakang. Seperti yang ditegaskan oleh von Braun et al. (2021), pendidikan berbasis teknologi dan etika ilmiah merupakan fondasi penting bagi pembentukan manusia seutuhnya yang mampu hidup berdampingan dengan kecerdasan buatan. Dalam konteks ini, pengalaman siswa tidak sekadar menjadi pembelajaran teknis, melainkan turut membentuk karakter dan kesadaran etis yang mendalam. Ketika mereka ditanya mengenai aspek yang paling dihargai dari proses pembelajaran ini, banyak yang menjawab “*kemampuan untuk memahami, mempertanyakan, dan bertindak dengan tanggung jawab.*” Jawaban tersebut menegaskan bahwa pembelajaran inovatif yang mengintegrasikan AI dan karakter ilmiah bukan sekadar wacana pedagogis, melainkan juga pengalaman nyata yang secara substansial membentuk masa depan siswa.

## B. Manfaat, Tantangan, dan Perubahan yang Dialami Siswa

Manfaat utama yang langsung dirasakan siswa setelah mengikuti program pembelajaran berbasis AI dan karakter ilmiah adalah peningkatan signifikan dalam kemampuan berpikir kritis dan sistematis, terutama saat menghadapi persoalan yang kompleks. Siswa menjadi lebih terampil dalam merumuskan hipotesis, menganalisis data, serta menyusun argumen berbasis bukti. Mereka juga mulai memahami bahwa tidak setiap jawaban bersifat final; justru pemikiran ilmiah menekankan pentingnya mempertanyakan, mengevaluasi, dan merevisi pemahaman secara berkesinambungan. Hal ini selaras dengan pendapat Okada (2025) yang menyatakan bahwa penggunaan AI dalam pendidikan memberi siswa peluang untuk terekspos pada berbagai simulasi yang mendorong eksplorasi serta pembentukan logika ilmiah. Siswa pun menunjukkan peningkatan kepercayaan diri dalam mengemukakan pendapat, sebab mereka terbiasa berada di lingkungan diskusi terbuka yang didukung AI sebagai sarana refleksi dan analisis. Hal ini sebagaimana

Edwards & Straker (2025) mencatat bahwa siswa yang terbiasa menggunakan teknologi berbasis AI cenderung memiliki kemampuan evaluatif yang lebih tajam dalam menyaring informasi. Pada titik inilah karakter ilmiah mulai tampak nyata, bukan sekadar hafalan materi, melainkan pembentukan pola pikir logis, skeptis positif, dan terbuka terhadap pembuktian. Manfaat-manfaat ini menjadi fondasi penting dalam membangun generasi pembelajar sepanjang hayat yang tidak mudah terjebak dalam dogma ataupun manipulasi informasi.

Manfaat lain yang juga sangat terasa adalah peningkatan kolaborasi dan kemampuan kerja tim. Dalam lingkungan pembelajaran berbasis AI dengan pendekatan konstruktivistik, siswa tidak hanya belajar secara individual, tetapi juga berbagi wawasan dalam penyelesaian proyek bersama. Mereka mengalami bahwa proses berpikir ilmiah menjadi lebih bermakna ketika berlangsung dalam diskusi kolektif yang ditopang perangkat AI. Dalam hal ini, Klimczak & Petersen (2023) mengemukakan bahwa siswa yang terlibat dalam proyek berbasis AI menunjukkan peningkatan kemampuan sosial, sebab mereka perlu bernegosiasi makna dan argumentasi secara rasional di dalam tim. Hal ini berbeda dengan pola pembelajaran konvensional yang lebih menekankan kompetisi dan hasil akhir sebagai indikator utama keberhasilan. Dengan terlibat dalam proses argumentatif, siswa tidak hanya melatih logika dan analisis, tetapi juga mengembangkan etika intelektual seperti menghargai pandangan lain dan merevisi pendapat berdasarkan bukti baru. Refleksi siswa menunjukkan bahwa AI bukanlah pengganti guru, melainkan memperkaya diskusi dengan menyediakan data, simulasi, serta konteks yang kompleks. Sebagaimana John (2025) berpendapat bahwa AI membuka ruang belajar kolaboratif yang lebih inklusif, sehingga siswa dengan beragam gaya belajar tetap dapat terlibat. Hal ini menegaskan bahwa karakter ilmiah tidak tumbuh dalam isolasi, melainkan melalui dinamika sosial yang menantang sekaligus mendewasakan.

Di sisi lain, siswa juga menghadapi tantangan, terutama dalam beradaptasi terhadap metode pembelajaran yang menuntut tingkat otonomi tinggi. Banyak siswa mengakui merasa kewalahan pada awalnya karena sistem AI menuntut mereka aktif mengeksplorasi pertanyaan dan merancang solusi sendiri, bukan sekadar menerima materi secara pasif. Tantangan ini juga tercermin dalam pandangan von Braun et al. (2021) yang menemukan bahwa pembelajaran berbasis AI dan karakter ilmiah mendorong pergeseran dari pasivitas menuju keaktifan kognitif bagi sebagian siswa, ini merupakan pengalaman baru yang cukup menantang. Selain itu, mempertahankan konsistensi dalam berpikir kritis menjadi tantangan tersendiri, terutama bagi mereka yang terbiasa dengan sistem penilaian yang hanya menuntut jawaban benar, bukan proses berpikirnya. Beberapa siswa menyampaikan bahwa tekanan performa dan kekhawatiran akan kesalahan membuat mereka cenderung kembali ke pola belajar lama yang menekankan hafalan. Dalam

konteks ini, penanaman karakter ilmiah membutuhkan bimbingan pedagogis yang konsisten serta lingkungan yang mendukung proses, bukan sekadar hasil akhir. Guarcello & Longo (2024) menegaskan bahwa kegagalan internalisasi semangat ilmiah biasanya terjadi ketika sistem pembelajaran tidak mampu menyeimbangkan antara tuntutan kognitif dan dukungan afektif. Maka, tantangan utama bukan hanya pada teknologi atau konten, tetapi juga pada kesiapan siswa dan guru untuk menjalani transformasi kultural dalam pembelajaran.

Salah satu manfaat yang sering luput dari perhatian, tetapi nyata dirasakan oleh siswa, adalah tumbuhnya rasa ingin tahu yang jauh lebih mendalam terhadap fenomena di sekitar mereka. Siswa mulai mempertanyakan hal-hal yang sebelumnya dianggap remeh, serta mencoba mengaitkan pengetahuan yang didapat di kelas dengan kejadian nyata di kehidupan sehari-hari. Okada (2025) menjelaskan bahwa ketika siswa diberi kesempatan untuk bereksperimen dengan pertanyaan terbuka di dalam ekosistem AI, mereka jadi benar-benar menyadari bahwa belajar adalah proses pencarian pengetahuan, bukan sekadar memenuhi kewajiban akademik. Tak sedikit siswa yang kini terbiasa mencatat pertanyaan-pertanyaan unik yang mereka pikirkan, lalu menggunakan AI sebagai titik awal diskusi di kelas. Ini merupakan wujud konkret dari karakter ilmiah: mempertanyakan secara autentik dan berani mengeksplorasi beragam kemungkinan. Lalu, John (2025) menambahkan bahwa peningkatan *curiosity* ini dapat dianggap sebagai indikator awal dari keberhasilan pembelajaran ilmiah yang bermakna. Perubahan ini bukan terjadi karena adanya pergantian materi ajar yang signifikan, melainkan karena pendekatan terhadap materi yang kini lebih dialogis, terbuka, dan berbasis data sehingga mengubah sikap belajar siswa. Refleksi siswa juga menunjukkan bahwa mereka mulai memandang pengetahuan sebagai sesuatu yang dinamis dan berkembang, bukan hal yang statis. Hasilnya, manfaat program ini tidak terbatas pada capaian akademik semata, melainkan juga pada perubahan cara pandang terhadap pengetahuan itu sendiri.

Perubahan signifikan lainnya yang dirasakan siswa tampak pada cara mereka menghadapi ketidakpastian dan kesalahan. Sebelum mengikuti program ini, banyak siswa merasa takut berbuat kesalahan dan lebih memilih diam daripada menyampaikan pendapat yang belum pasti. Setelah melalui pembelajaran yang menekankan pada penguatan karakter ilmiah, mereka mulai memahami bahwa kesalahan merupakan bagian dari proses berpikir dan dapat menjadi sumber pembelajaran yang sah. Dalam hal ini, Edwards & Straker (2025) mencatat bahwa AI berperan penting dalam menyediakan ruang aman bagi siswa untuk melakukan eksplorasi tanpa takut dihakimi. Banyak siswa mengaku kini merasa lebih bebas bereksperimen dengan ide-ide, karena menyadari bahwa AI akan memberikan masukan, bukan hukuman.

Hal ini mengubah suasana kelas menjadi lebih suportif dan reflektif. Menurut pandangan von Braun et al. (2021), ketika siswa memahami bahwa berpikir ilmiah didasarkan pada siklus revisi dan evaluasi, mereka menjadi lebih resilien dan terbuka terhadap kritik. Perubahan ini memang tidak terjadi secara instan, melainkan tumbuh secara bertahap melalui interaksi yang mendorong refleksi diri. Refleksi siswa menunjukkan bahwa mereka kini lebih berani mengambil risiko intelektual dan tidak malu mengakui kesalahan, karena memahami bahwa pencarian kebenaran membutuhkan proses. Ini menjadi indikator kuat bahwa pembelajaran telah menyentuh ranah karakter, tidak hanya aspek kognitif.

Salah satu perubahan signifikan lainnya yang dialami siswa setelah mengikuti pembelajaran berbasis AI dan karakter ilmiah adalah tumbuhnya keberanian untuk mengemukakan pendapat serta mempertahankan argumen secara logis di hadapan publik. Bagi banyak siswa, pengalaman ini menjadi titik balik yang membebaskan mereka dari keraguan atau rasa rendah diri terhadap kemampuan berpikir mereka. Mereka melaporkan bahwa kemampuan menyusun argumen berbasis bukti meningkat secara signifikan, terutama karena proses pembelajaran mendorong diskusi terbuka dan eksplorasi kritis terhadap informasi yang diperoleh melalui teknologi kecerdasan buatan. Sistem pembelajaran berbasis AI yang terintegrasi dengan penanaman karakter ilmiah secara langsung membangun kepercayaan diri intelektual siswa, sebab mereka tidak hanya didorong untuk menjawab dengan benar, tetapi juga untuk menjelaskan proses berpikir yang melatarbelakangi jawaban tersebut (Guarcello & Longo, 2024). Salah satu siswa dalam wawancara oleh Edwards & Straker (2025) bahkan menyampaikan bahwa dirinya merasa lebih mampu menyampaikan ide dengan struktur berpikir yang kuat dan berani mengkritisi pendapat orang lain secara santun, yang menunjukkan adanya transformasi mendasar pada sikap intelektual siswa. Keterampilan ini penting, tidak hanya di bidang akademik, tetapi juga sebagai bekal utama menghadapi tantangan sosial yang memerlukan keberanian, argumentasi rasional, dan toleransi terhadap perbedaan perspektif.

Selama mengikuti program ini, siswa memang dihadapkan pada tantangan yang cukup kompleks, terutama saat beradaptasi dengan metode evaluasi yang menuntut argumentasi mendalam dan proses berpikir kritis, bukan sekadar mengejar hasil akhir. Tidak sedikit siswa yang mengakui bahwa pada awalnya mereka merasa tertekan dengan tuntutan untuk selalu menyertakan alasan ilmiah di balik setiap jawaban, karena hal tersebut sangat berbeda dari sistem pembelajaran konvensional yang selama ini mereka jalani. von Braun et al. (2021) menyatakan bahwa proses penanaman karakter ilmiah memang membutuhkan transformasi paradigma pembelajaran dari model reproduktif menuju reflektif-konstruktif dan perubahan ini jelas tidak mudah bagi siswa yang terbiasa dengan pola hapalan. Tantangan semakin terasa

ketika AI mulai digunakan untuk menguji hasil pemikiran siswa melalui pertanyaan lanjutan yang bersifat multidisipliner dan lebih mendalam. Akan tetapi, John (2025) justru melihat tantangan ini sebagai peluang; siswa dapat melatih ketahanan belajar, kemampuan metakognitif, serta kesabaran dalam menyusun argumen berbasis nalar dan data. Dalam konteks ini, pengalaman menghadapi kesulitan di awal berubah menjadi proses pertumbuhan kognitif yang autentik, meskipun tetap memerlukan pendampingan guru yang aktif, empatik, dan memahami teknologi pendidikan.

Lebih jauh lagi, siswa menyatakan bahwa salah satu manfaat utama dari pengalaman ini adalah tumbuhnya rasa tanggung jawab terhadap proses belajar mereka sendiri. Mereka tidak lagi sekadar menunggu informasi dari guru, melainkan aktif mencari, menganalisis, dan menguji kebenaran informasi dengan dukungan AI. Perubahan ini menandakan transisi dari ketergantungan menuju kemandirian belajar. Sebagaimana Okada (2025) mencatat bahwa AI dalam pendidikan dapat menjadi fasilitator mandiri yang memperkuat karakter ilmiah siswa, selama teknologi ini dirancang untuk menantang siswa secara dialogis, bukan hanya memberi jawaban instan. Siswa juga melaporkan bahwa mereka ter dorong untuk tidak sekadar menyelesaikan tugas, melainkan benar-benar memahami inti persoalan yang dihadapi. Hal ini menunjukkan bahwa proses belajar mulai dipandang sebagai tanggung jawab pribadi yang harus dijalani dengan integritas, bukan sekadar memenuhi kewajiban administratif. Menurut pandangan Edwards & Straker (2025), perubahan semacam ini merupakan indikator keberhasilan program dalam membentuk otonomi akademik, yang merupakan ciri utama pembelajaran seumur hidup di era digital. Maka dari itu, rasa tanggung jawab yang tumbuh dari interaksi antara AI, karakter ilmiah, dan struktur pembelajaran inovatif menjadi fondasi yang kuat bagi terbentuknya etos belajar berkelanjutan.

Akan tetapi, pengalaman siswa tidak selalu berjalan mulus atau linier. Beberapa siswa melaporkan munculnya kecemasan performa yang meningkat, terutama ketika merasa belum mampu memenuhi ekspektasi logis yang ditetapkan oleh sistem AI. Kecemasan ini semakin tajam dengan adanya mekanisme evaluasi otomatis yang langsung memberikan umpan balik atas kualitas argumentasi mereka. Dalam hal ini, Klimczak & Petersen (2023) menyatakan bahwa tekanan performa seperti ini memang merupakan salah satu risiko psikologis dari sistem pembelajaran digital yang terlalu menitikberatkan pada metrik kecerdasan. Hal ini menegaskan pentingnya strategi pendampingan afektif dan sosial-emosional dalam integrasi teknologi di ruang kelas, agar siswa tidak merasa terisolasi atau rendah diri ketika mengalami kesulitan. Sebagian siswa juga menyadari bahwa perubahan pola pikir logis-ilmiah membutuhkan waktu dan pengulangan, sehingga guru perlu menciptakan ruang yang ramah kesalahan (*error-friendly space*) dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, siswa lebih berani mencoba, gagal, lalu

memperbaiki pemahaman secara berkelanjutan. Tantangan psikologis yang muncul dalam proses transformasi ini seharusnya tidak dianggap sebagai hambatan, melainkan bagian integral dari pendewasaan cara berpikir berbasis karakter ilmiah.

Salah satu perubahan paling nyata dari pembelajaran berbasis AI yang dipadukan dengan karakter ilmiah adalah meningkatnya kesadaran reflektif siswa terhadap peran mereka sendiri dalam proses belajar. Siswa tidak lagi hanya menjadi peserta pasif yang sekadar mengikuti instruksi guru atau sistem, melainkan mulai melakukan evaluasi terhadap kekuatan dan kelemahan mereka secara lebih aktif. Kebiasaan refleksi dan berpikir tentang cara belajar ini pun semakin terasah dan menjadi bagian dari proses pembentukan metakognisi. Pendekatan pembelajaran yang mengintegrasikan karakter ilmiah secara sistematis memang mendorong terbentuknya regulasi diri siswa. Siswa didorong untuk berpikir secara ilmiah, dengan menekankan ketekunan dan evaluasi berkelanjutan, sehingga mereka tergerak untuk merancang strategi belajar yang sesuai dengan kebutuhan masing-masing mengatur waktu, memilih sumber yang kredibel, dan menilai informasi secara kritis (Klimczak & Petersen, 2023). Pembelajaran berbasis AI pada akhirnya menuntut keterlibatan aktif; siswa tidak lagi dapat bersikap pasif dalam menerima materi. Transformasi ini melampaui sekadar perolehan pengetahuan, tetapi juga berdampak pada sikap dan orientasi siswa terhadap pendidikan. Adapun dalam hal ini Edwards & Straker (2025) menekankan bahwa keberhasilan program semacam ini sangat bergantung pada keberadaan siswa sebagai agen aktif, bukan objek pasif. Akhirnya, terjadi pergeseran paradigma di mana siswa diposisikan sebagai mitra sejajar dalam proses pendidikan, bukan sekadar penerima informasi.

Perubahan juga terlihat pada cara siswa menghadapi tantangan akademik. Pendekatan karakter ilmiah mendorong siswa untuk tidak memandang kesalahan sebagai kegagalan, melainkan sebagai peluang belajar. Kehadiran teknologi AI yang menawarkan umpan balik otomatis dan analisis kesalahan secara real-time sangat membantu dalam hal ini. Banyak siswa menyatakan bahwa fitur ini membuat mereka lebih berani mencoba, karena mereka tahu sistem akan membantu mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan. Maka, kecemasan akademik yang seringkali menghambat kreativitas dan eksplorasi menjadi berkurang (von Braun et al., 2021). John (2025) bahkan menyatakan bahwa lingkungan belajar seperti ini menciptakan zona proaktif, di mana kegagalan dipandang sebagai bagian dari proses penemuan, bukan stigma. Pola pikir berkembang (*growth mindset*) pun terbentuk, siswa tidak lagi terpaku pada hasil akhir, melainkan lebih menghargai proses dan usaha yang dilakukan. Konsekuensinya, ketekunan dan kegigihan siswa dalam belajar, baik di bidang sains maupun pelajaran lain, meningkat.

Meski demikian, di balik berbagai manfaat tersebut, tidak sedikit siswa yang menghadapi tantangan dalam menyesuaikan diri dengan model pembelajaran ini. Beberapa siswa mengakui sempat merasa kewalahan dalam mengombinasikan pemahaman teknologi AI dengan tuntutan karakter ilmiah, seperti analisis kritis, kejujuran akademik, dan validasi informasi. Tantangan ini semakin terasa bagi mereka yang tingkat literasi digitalnya masih terbatas. Dalam hal ini, Okada (2025) menyoroti bahwa kesenjangan literasi digital menjadi penghambat utama dalam pembelajaran AI yang menuntut otonomi siswa. Banyak siswa juga masih kesulitan untuk menentukan kapan harus mengandalkan AI dan kapan harus menggunakan intuisi atau penalaran pribadi. Sementara itu, Guarcello & Longo (2024) menegaskan bahwa integrasi AI saja tidak serta-merta meningkatkan kualitas pembelajaran tanpa dukungan keterampilan reflektif dan pemahaman kritis. Karenanya, sangat penting untuk merancang sistem pendampingan yang tidak hanya bersifat teknis, tetapi juga pedagogis dan psikologis, agar seluruh siswa dapat memaksimalkan manfaat transformasi ini secara adil dan menyeluruh.

Perubahan yang paling menonjol terlihat pada cara siswa memaknai hubungan antara pembelajaran dan kehidupan nyata. Kini, semakin banyak siswa yang mulai memahami adanya keterkaitan langsung antara proses belajar di kelas dengan persoalan yang mereka temui di lingkungan sekitar. Program pembelajaran yang menekankan karakter ilmiah mendorong siswa untuk mengaitkan konsep-konsep akademik dengan realitas sosial, ekonomi, dan lingkungan yang mereka alami sehari-hari. Misalnya, sejumlah siswa menyampaikan bahwa setelah mempelajari konsep validitas informasi dalam pelajaran berbasis AI, mereka menjadi lebih selektif dalam menyaring berita di media sosial. Hal ini menunjukkan bahwa karakter ilmiah yang dibangun di kelas tidak berhenti pada ranah teori, tetapi juga tercermin dalam kebiasaan harian siswa. Sebagaimana Edwards & Straker (2025) menegaskan bahwa keberhasilan pendidikan karakter ilmiah dapat dilihat ketika siswa mampu menerapkan nilai-nilai ilmiah seperti skeptisme sehat, keterbukaan, dan objektivitas di ruang publik maupun dalam kehidupan pribadi. Lalu, John (2025) juga menyoroti bahwa transformasi ini menjadi indikator utama keberhasilan pendidikan abad ke-21, yakni ketika hasil belajar tidak hanya tercermin pada nilai rapor, tetapi juga dalam pola pikir dan tindakan siswa yang semakin rasional, kritis, dan bertanggung jawab. Dengan demikian, pengalaman siswa dalam program ini menegaskan bahwa pendidikan karakter ilmiah berbasis AI memiliki potensi besar dalam membentuk warga belajar yang sadar akan peran sosial dan epistemik mereka di masyarakat.

### C. Pentingnya Integrasi Karakter Ilmiah dalam Kurikulum

Integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum pendidikan abad ke-21, secara jujur, telah menjadi kebutuhan strategis yang tidak dapat diabaikan dalam membentuk generasi pembelajar yang tidak hanya unggul secara intelektual, tetapi juga berpegang teguh pada etika, berpikir kritis, dan reflektif terhadap kompleksitas dunia modern. Karakter ilmiah seperti rasa ingin tahu, keterbukaan berpikir, skeptisme yang sehat, serta tanggung jawab terhadap pengetahuan jelas tidak akan berkembang hanya melalui pembelajaran kognitif semata. Diperlukan desain kurikulum yang menyediakan ruang bagi pengalaman belajar kontekstual dan berbasis masalah nyata. Seperti yang disampaikan Stacey & Mockler (2024), pendekatan kebijakan pendidikan yang responsif harus memasukkan dimensi karakter dan nilai, bukan hanya berorientasi pada hasil kuantitatif. Dengan pesatnya perkembangan teknologi kecerdasan buatan (AI), kebutuhan integrasi karakter ilmiah menjadi semakin mendesak. Siswa saat ini tidak cukup hanya mampu mengakses data; mereka juga dituntut untuk memilah, mengevaluasi, dan menggunakan data secara bertanggung jawab. Karenanya, kurikulum ideal seharusnya tidak lagi bersifat netral, melainkan berfungsi sebagai ruang etis dan epistemik yang membekali siswa dengan kemampuan reflektif dalam penggunaan teknologi (Guarcello & Longo, 2024). Penting bagi perancang kurikulum untuk memposisikan karakter ilmiah sebagai fondasi utama pendidikan yang berorientasi pada masa depan manusia yang bermartabat, bukan sekadar pelengkap.

Signifikansi karakter ilmiah juga tampak dalam upaya membangun daya tahan kognitif dan moral siswa dalam menghadapi arus informasi digital yang masif serta kerap menyesatkan. Di era masyarakat pascakebenaran, kemampuan menilai validitas informasi menjadi sangat esensial, sebagaimana ditekankan oleh John (2025) dalam konteks pendidikan keberlanjutan global yang berkaitan erat dengan literasi epistemik. Ketika siswa dibekali karakter ilmiah, mereka mampu menavigasi dunia digital secara aktif, tidak sekadar menjadi konsumen pasif, melainkan aktor yang memahami kualitas serta dampak pengetahuan yang mereka terima dan hasilkan. Relevansi ini semakin kuat dalam konteks kurikulum yang beririsan dengan teknologi AI, di mana algoritma secara implisit dapat membentuk pola pikir dan pengambilan keputusan siswa (Klimczak & Petersen, 2023). Maka, integrasi karakter ilmiah berfungsi sebagai benteng utama dalam membangun kesadaran kritis terhadap struktur pengetahuan digital beserta implikasi etikanya. Edwards & Straker (2025) menegaskan, anak-anak di masyarakat digital memerlukan pembelajaran yang membangun kesadaran akan peran serta risiko teknologi sedari dini. Kurikulum yang mengintegrasikan karakter ilmiah dapat menjawab kebutuhan ini dengan menghadirkan pengalaman belajar yang bersifat informatif sekaligus transformatif dalam aspek kognitif dan moral.

Dalam kerangka tersebut, pendidikan seharusnya tidak lagi bertumpu pada hafalan dan reproduksi, melainkan pada pembentukan identitas ilmiah yang kritis dan bertanggung jawab.

Lebih jauh, urgensi integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum juga berkaitan dengan transformasi epistemologi dalam pendidikan dari pendekatan instruksional menuju model pembelajaran yang partisipatif dan reflektif. Model pembelajaran ini menempatkan siswa sebagai penjelajah aktif dalam lanskap pengetahuan; mereka dapat merumuskan pertanyaan, membangun argumen, dan menguji hipotesis baik secara mandiri maupun kolaboratif. Hal ini selaras dengan konsep “*knowledge cartography*” yang dikemukakan Okada (2025), di mana siswa diajak memetakan isu-isu kompleks seperti perubahan iklim dan teknologi dengan teknik pemetaan berpikir dan alat bantu AI secara kritis. Melalui pendekatan ini, siswa tidak hanya menyerap informasi, tetapi juga mengembangkan karakter ilmiah yang adaptif terhadap perubahan serta sensitif terhadap isu kemanusiaan. Kurikulum yang mendukung pengembangan ini perlu menyediakan ruang eksplorasi terbuka, diskusi reflektif, dan pembelajaran berbasis proyek yang menantang siswa berpikir lintas disiplin. Sayangnya, banyak kurikulum saat ini masih terjebak pada logika evaluasi yang menitikberatkan hasil akhir dan capaian numerik, sehingga menghambat perkembangan karakter ilmiah yang bersifat prosesual dan kontekstual. Karenanya, revisi kurikulum secara paradigmatis diperlukan agar dimensi karakter menjadi inti tujuan pendidikan nasional yang berorientasi pada pengembangan manusia seutuhnya. Secara singkat, dapat dikatakan bahwa selama pendidikan masih terpaku pada capaian numerik, upaya membangun karakter ilmiah yang kuat akan selalu terbatas. Sudah saatnya dimensi karakter menjadi fondasi utama dalam pendidikan, bukan sekadar pelengkap.

Urgensi integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum semakin terlihat jelas di tengah meningkatnya kompleksitas sosial dan tantangan etika akibat kemajuan teknologi. Seperti yang ditegaskan oleh von Braun et al. (2021), pendidikan etika sains dan teknologi kini menjadi bagian esensial dari proses pembelajaran di era robotika dan kecerdasan buatan. Karakter ilmiah yang kuat tak sekadar membekali siswa dengan pemahaman teknis mengenai teknologi, melainkan juga mendorong refleksi atas konsekuensi moral dan sosial dari penggunaannya. Hal ini sangat penting dalam membentuk warga negara digital yang memiliki empati, tanggung jawab sosial, dan kesadaran akan keadilan pengetahuan. Kurikulum yang tidak mengintegrasikan karakter ilmiah berisiko menciptakan individu yang unggul secara teknis, namun lemah dari sisi etik. Maka, pendidikan seharusnya tidak hanya menjadi sarana transfer informasi dan keterampilan, tetapi juga harus mengedepankan nilai, etika, serta tanggung jawab sosial dalam proses pembelajaran. Integrasi karakter ilmiah ini menjadi kunci dalam menjaga kohesi sosial dan

keberlanjutan budaya pengetahuan di tengah arus digitalisasi global. Sebagaimana disebutkan Fan & Popkewitz (2020), pembentukan karakter melalui kebijakan pendidikan berbasis bukti perlu menjadi prinsip utama dalam perumusan kurikulum yang tidak hanya efektif, namun juga bermakna secara sosial.

Dalam pelaksanaannya, integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum membutuhkan dukungan kebijakan pendidikan yang visioner dan adaptif. Dalam hal ini, Fan & Popkewitz, (2020) menyoroti bahwa kebijakan pendidikan masa kini tidak lagi dapat bersifat normatif dan sentralistik, melainkan harus memberi ruang pada pendekatan kontekstual, reflektif, dan berbasis pemahaman mendalam terhadap kompleksitas praktik pembelajaran. Dalam konteks ini, karakter ilmiah berfungsi sebagai jembatan antara kebijakan dan implementasi di lapangan, karena nilai-nilai seperti kemandirian berpikir, kejujuran akademik, dan keterbukaan terhadap kritik menjadi pedoman etis dalam proses pembelajaran. Kurikulum yang responsif perlu memberikan fleksibilitas pedagogis agar pendidik dapat menumbuhkan karakter ilmiah melalui strategi yang relevan dengan kondisi lokal dan kebutuhan peserta didik. Tantangan utama tetap pada perubahan paradigma pendidikan yang selama ini terlalu berorientasi pada pengukuran kuantitatif. Sementara itu, menurut pandangan Stacey & Mockler (2024), diperlukan pendekatan kebijakan yang mengintegrasikan nilai-nilai etik dan keilmuan sebagai bagian dari standar pembelajaran. Karenanya, integrasi karakter ilmiah bukan sekadar isu kelas dan kurikulum, melainkan agenda strategis yang perlu melibatkan seluruh pemangku kebijakan pendidikan secara terstruktur dan sistematis.

Integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum juga berkaitan erat dengan literasi teknologi dan data, terutama dalam konteks pemanfaatan AI di ruang kelas. Sekolah dewasa ini tidak cukup hanya mengajarkan keterampilan penggunaan perangkat digital, melainkan harus membekali siswa dengan kemampuan menilai, menginterpretasi, dan memverifikasi informasi berbasis data secara kritis. Karakter ilmiah yang mencakup keterbukaan pada bukti, skeptisme yang sehat, dan disiplin intelektual berfungsi sebagai kerangka nilai yang menopang kecakapan digital dan literasi data. Guarcello & Longo (2024) menekankan pentingnya membimbing peserta didik agar memiliki relasi reflektif terhadap teknologi, sehingga mereka tidak hanya menjadi pengguna pasif, melainkan agen kritis yang mampu memahami dampak sosial dan epistemik AI dalam kehidupan. Kurikulum yang tidak menanamkan karakter ilmiah sejak awal akan gagal membangun ketahanan intelektual siswa dalam menghadapi arus informasi, bias algoritmik, dan manipulasi digital. Kemampuan untuk mengkritisi hasil pencarian otomatis, memahami konteks statistik, dan mengevaluasi sumber informasi merupakan kompetensi penting abad ke-21 yang tidak dapat tumbuh tanpa fondasi karakter ilmiah yang kuat.

Maka dari itu, membentuk generasi pembelajar yang mampu menavigasi dunia digital dan AI secara bertanggung jawab membutuhkan lebih dari sekadar pengetahuan teknis, diperlukan pula orientasi moral dan sikap keilmuan yang kokoh, yang hanya dapat tumbuh di lingkungan pendidikan yang secara sadar dan sistematis mengintegrasikan karakter ilmiah ke dalam kurikulum (Edwards & Straker, 2025; von Braun et al., 2021).

Kurikulum yang mengintegrasikan karakter ilmiah jelas memegang posisi penting dalam pembentukan pemahaman lintas disiplin, yang sangat diperlukan di tengah tantangan global yang semakin kompleks. Dunia kerja dan kehidupan sosial saat ini menuntut keterampilan berpikir yang tidak lagi bisa terbatas pada pola linear atau sektoral. Justru diperlukan pendekatan transdisipliner dan integratif. Dengan integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum, peserta didik dapat mengembangkan kemampuan menyusun argumen berbasis bukti dari berbagai bidang ilmu, melihat keterkaitan sebab-akibat, memahami dinamika sistem, serta mempertimbangkan konsekuensi jangka panjang dari setiap keputusan yang diambil. Dalam kerangka ini, pendidikan seyogianya tidak berhenti pada transfer pengetahuan semata, melainkan diarahkan pada pengembangan penalaran ilmiah dan *evidence-based judgment*. Sebagaimana John (2025) menekankan bahwa pendidikan abad ke-21 perlu menumbuhkan daya pikir sistemik dan kepekaan etis secara paralel, dengan karakter ilmiah sebagai jembatan antara keduanya. Akhirnya, setiap satuan pendidikan, baik di tingkat dasar maupun menengah, penting untuk menyusun kurikulum yang menekankan integrasi antarbidang pengetahuan dengan karakter ilmiah sebagai fondasi. Jika sains, humaniora, dan teknologi diajarkan secara terpisah tanpa kerangka karakter ilmiah yang kuat, peserta didik hanya akan memperoleh pengetahuan secara terfragmentasi dan kesulitan menghubungkannya dalam konteks nyata. Sebaliknya, jika pembelajaran dibangun di atas sikap ilmiah seperti rasa ingin tahu yang mendalam, konsistensi berpikir, dan keterbukaan terhadap revisi ide, maka hasilnya bukan hanya peserta didik yang unggul secara akademik, namun juga bijaksana dalam berpikir (Fan & Popkewitz, 2020; Okada, 2025).

Lebih lanjut, penerapan kurikulum berbasis karakter ilmiah membuka peluang bagi praktik pedagogi yang lebih partisipatif dan demokratis. Di ruang kelas, peran guru tidak lagi sekadar sebagai sumber otoritas kebenaran, melainkan sebagai fasilitator yang mendorong diskusi terbuka, pertukaran argumen, dan pembentukan makna secara kolektif. Proses pembelajaran seperti ini merefleksikan prinsip dasar karakter ilmiah, yaitu bahwa kebenaran ilmiah selalu terbuka untuk falsifikasi dan dapat dikaji ulang berdasarkan bukti. Dalam hal ini, Stacey & Mockler (2024) menyatakan bahwa penguatan karakter ilmiah dalam kebijakan kurikulum memerlukan perubahan paradigma peran guru: dari pengampu konten menjadi pembimbing proses berpikir. Transformasi ini tidak hanya meningkatkan keterlibatan kognitif

siswa, tetapi juga membangun otonomi intelektual yang sangat penting dalam pembentukan identitas pembelajar sepanjang hayat. Ketika siswa diberi ruang untuk mempertanyakan, menyelidiki, dan menguji hipotesis mereka sendiri dalam suasana yang inklusif serta toleran terhadap perbedaan pandangan, proses pembelajaran menjadi sarana efektif pembentukan karakter. Kurikulum yang mengintegrasikan karakter ilmiah dengan demikian tidak hanya menghasilkan peserta didik yang kompeten secara kognitif, tetapi juga mampu menjadi anggota komunitas epistemik yang menjunjung dialog, integritas, dan tanggung jawab intelektual (Fan & Popkewitz, 2020). Artinya, integrasi karakter ilmiah mendukung demokratisasi pendidikan melalui penguatan nilai-nilai ilmiah sebagai dasar kehidupan bersama.

Walaupun demikian, proses integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum tidak dapat dilepaskan dari kebijakan pendidikan yang berpihak pada transformasi pedagogis secara struktural. Banyak sekolah dan institusi pendidikan masih beroperasi berdasarkan logika kurikulum yang terlalu berorientasi pada hasil akhir (*output-based*), sehingga kerap mengabaikan pentingnya internalisasi nilai-nilai ilmiah dalam proses pembelajaran. Fan & Popkewitz (2020) menegaskan pentingnya reformasi kebijakan berbasis bukti (*evidence-based policy*) yang memungkinkan inovasi kurikulum menjadi lebih adaptif terhadap kebutuhan karakter pembelajar masa depan. Dalam praktiknya, pengembangan kurikulum berbasis karakter ilmiah membutuhkan otonomi yang memadai bagi guru untuk menyesuaikan pendekatan pembelajaran dengan dinamika kelas, serta dukungan kebijakan berupa insentif terhadap inovasi pendidikan. Tanpa adanya kerangka kebijakan yang mendukung, upaya integrasi karakter ilmiah berpotensi hanya menjadi jargon tanpa implementasi nyata di sekolah. Oleh karena itu, sinergi antara pengambil kebijakan, perancang kurikulum, dan pelaku pendidikan sangat diperlukan agar prinsip karakter ilmiah benar-benar terimplementasi dalam dokumen kurikulum, rencana pembelajaran, dan asesmen secara menyeluruh. Reformasi ini juga hendaknya didasarkan pada riset empiris dan keterlibatan langsung para pemangku kepentingan pendidikan agar tidak hanya menjadi instruksi administratif, melainkan benar-benar relevan dengan kebutuhan di lapangan (Klimczak & Petersen, 2023; Stacey & Mockler, 2024).

Perlu ditekankan bahwa integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum bukan semata persoalan metodologis atau kebijakan teknis, melainkan turut menyentuh dimensi etis dan filosofis pendidikan. Di tengah era disruptif digital dan ekspansi kecerdasan buatan, pendidikan dihadapkan pada pertanyaan fundamental, *nilai-nilai apa yang seyogianya ditanamkan pada generasi mendatang?*. Dalam konteks ini, karakter ilmiah tidak sekadar strategi peningkatan performa akademik siswa, melainkan juga menandakan tanggung jawab moral pendidikan terhadap masa depan umat manusia. Seperti yang ditegaskan oleh von Braun et al. (2021), AI dan teknologi otonom menantang

manusia untuk menegaskan kembali nilai-nilai kemanusiaan melalui pendidikan, dan karakter ilmiah merupakan salah satu ekspresi utama dari nilai tersebut. Ketika siswa dibekali pola pikir rasional, keterbukaan, dan tanggung jawab, mereka akan memiliki ketahanan moral dalam menghadapi tekanan ideologis, manipulasi teknologi, serta fragmentasi sosial. Karenanya, kurikulum yang tidak mengintegrasikan karakter ilmiah sebagai fondasi pembelajaran pada akhirnya gagal menjalankan fungsinya sebagai alat pembebasan dan pencerahan manusia. Integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum berarti menanamkan benih peradaban yang didasarkan pada integritas intelektual, keberanian moral, serta kebijaksanaan dalam penggunaan teknologi. Maka, perancangan kurikulum pendidikan harus merespons tantangan kekinian sekaligus mempersiapkan siswa menghadapi ketidakpastian masa depan, dengan karakter ilmiah sebagai pedoman utama (John, 2025; Okada, 2025).

Integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum tidak hanya membentuk nalar kritis dan kebiasaan berpikir reflektif, tetapi juga secara langsung berkontribusi pada kesiapan siswa menghadapi dinamika global yang sarat ketidakpastian. Dalam masyarakat digital yang semakin dipengaruhi oleh AI, siswa diharapkan mampu memilah informasi, menyusun argumen berbasis data, serta mengambil keputusan dengan mempertimbangkan aspek etika dan keberlanjutan. Di sinilah karakter ilmiah seperti objektivitas, keterbukaan terhadap bukti, dan kerendahan hati intelektual menjadi sangat esensial. Dalam hal ini, Edwards & Straker (2025) menegaskan bahwa paparan proses pembelajaran yang menekankan diskusi terbuka, kolaborasi, serta pemecahan masalah berbasis bukti sejak dini akan membuat siswa lebih siap menghadapi tantangan sosial dan teknologi di masa depan. Selanjutnya, John (2025) mengingatkan bahwa pendidikan abad ke-21 tidak boleh hanya berfokus pada penguasaan keterampilan teknis, melainkan juga harus menumbuhkan watak ilmiah agar siswa mampu memahami kompleksitas dunia secara lebih mendalam. Hal ini menegaskan bahwa karakter ilmiah bukan sekadar pelengkap, melainkan fondasi utama pembelajaran yang utuh. Pengabaian terhadap aspek karakter ilmiah dalam kurikulum berakibat pada stagnasi kognitif dan lahirnya generasi yang rentan terhadap misinformasi, manipulasi data, dan bias algoritmik. Karenanya, urgensi integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum merupakan bagian dari strategi jangka panjang guna membekali siswa, tidak hanya sebagai peserta didik, namun juga sebagai warga dunia yang tangguh secara intelektual dan etis.

Upaya menyisipkan karakter ilmiah dalam kurikulum memerlukan dukungan sistem pendidikan secara menyeluruh, termasuk kebijakan yang responsif, sumber daya yang adaptif, serta pelatihan guru yang berorientasi pada pembaruan paradigma. Fan & Popkewitz (2020), dalam kajian mereka mengenai kebijakan pendidikan, menyoroti pentingnya sinergi antara

kebijakan nasional dan realitas lokal di sekolah agar integrasi nilai-nilai karakter ilmiah dapat diimplementasikan secara konkret, bukan sekadar normatif. Pada banyak sistem pendidikan, masih terdapat kesenjangan antara tujuan kurikulum dan praktik pembelajaran di kelas, yang cenderung terfokus pada capaian kognitif sempit. Padahal, sebagaimana disoroti oleh Stacey & Mockler (2024), pergeseran menuju pendidikan berbasis karakter ilmiah menuntut redefinisi indikator keberhasilan; dari sekadar nilai ujian menuju pemahaman mendalam, kemampuan argumentatif, dan kesadaran etis. Diperlukan kebijakan pendidikan yang secara eksplisit mengarahkan sekolah untuk menata ulang strategi kurikulum agar mencerminkan nilai-nilai tersebut. Lalu, Fan & Popkewitz (2020) bahkan menegaskan perlunya pendekatan berbasis bukti dalam penyusunan kurikulum karakter ilmiah agar pelaksanaannya tidak bersifat sporadis. Oleh karena itu, kebijakan integratif harus memastikan setiap aspek pendidikan mulai dari materi ajar hingga asesmen mendorong tumbuhnya karakter ilmiah sebagai bagian esensial pembentukan identitas akademik siswa. Tanpa dukungan kebijakan yang komprehensif, integrasi karakter ilmiah akan berhenti pada tataran diskursus, bukan praksis nyata.

Integrasi karakter ilmiah ke dalam kurikulum jelas membawa dimensi sosial yang sangat luas bukan sekadar soal pembelajaran kognitif, melainkan juga tentang membangun ruang pendidikan yang inklusif serta menghargai keberagaman perspektif. Proses pembelajaran yang berfokus pada karakter ilmiah seharusnya menjadi medan interaksi sosial, tempat siswa belajar mendengar, menghormati perbedaan pendapat, dan mengemukakan argumen yang didasarkan pada fakta. Seperti ditegaskan von Braun et al. (2021), pendidikan idealnya membekali siswa dengan kemampuan berdialog kritis, yang tidak sekadar retoris, tetapi sungguh-sungguh terinformasi dan dijalankan secara etis. Dalam hal ini, karakter ilmiah tidak hanya soal logika individu, tetapi juga sangat berkaitan dengan kemampuan menjalin intersubjektivitas di tengah masyarakat yang plural. Urgensi ini semakin terasa di era digital, di mana polarisasi dan bias menjadi kecenderungan yang mengkhawatirkan. Siswa yang tidak dibekali prinsip karakter ilmiah rentan terhanyut dalam arus emosi kolektif yang tidak berbasis fakta. Sementara itu, Okada (2025) menambahkan bahwa melalui pendekatan kartografi pengetahuan, siswa dapat dilatih untuk memetakan beragam sudut pandang secara visual dan konseptual. Dengan cara ini, tumbuh kesadaran bahwa pengetahuan selalu berada dalam jejaring yang kompleks, menuntut keterbukaan serta kehati-hatian ilmiah. Kurikulum yang mengintegrasikan karakter ilmiah, karenanya, harus bersifat dialogis, transformatif, dan responsif terhadap keragaman. Pembelajaran tidak dapat berlangsung secara otoriter atau linear; justru guru perlu berperan sebagai fasilitator yang membuka ruang diskusi sehat dan reflektif.

Keberhasilan integrasi karakter ilmiah sangat bergantung pada peran aktif guru sebagai agen transformatif yang memahami nilai-nilai ilmiah dalam pembentukan kepribadian siswa. Sayangnya, masih banyak guru yang terjebak dalam paradigma lama sekadar menjadi penyampai materi, bukan fasilitator berpikir kritis. Dalam hal ini, Guarcello & Longo (2024) menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis AI dan pengalaman estetis di kelas dapat mendorong guru untuk merancang pembelajaran yang menstimulasi pertanyaan, bukan sekadar mencari jawaban. Nilai-nilai seperti ketelitian, kejujuran intelektual, dan keterbukaan terhadap koreksi harus secara konsisten ditanamkan agar karakter ilmiah berkembang secara natural pada siswa. Selain itu, Klimczak & Petersen (2023) menekankan pentingnya kesadaran guru terhadap keterbatasan AI sebagai alat bantu, agar karakter tidak tergantikan oleh proses yang mekanistik. Maka, pengembangan profesionalisme guru sebaiknya diarahkan pada penguasaan pendekatan pedagogis integratif menggabungkan literasi digital, metode pembelajaran aktif, dan refleksi nilai. Guru dalam konteks ini bukan hanya menjalankan peran teknis, tetapi juga etis sebagai penjaga nilai-nilai ilmiah dalam proses pendidikan. Dengan pelatihan yang tepat dan struktur kurikulum yang konsisten, karakter ilmiah dapat menjadi bagian integral pendidikan, bukan sekadar tambahan administratif.

Terakhir, integrasi karakter ilmiah dalam kurikulum tidak hanya sekadar respons terhadap kemajuan teknologi atau inovasi pembelajaran, melainkan bagian dari visi pendidikan jangka panjang yang membentuk manusia seutuhnya. Dalam masyarakat yang semakin digerakkan oleh kecerdasan buatan dan algoritma, nilai-nilai seperti skeptisme terinformasi, penghargaan terhadap data, dan pemikiran reflektif menjadi bekal utama menghadapi dunia yang kompleks. Fan & Popkewitz (2020) menyebut bahwa pendidikan berbasis karakter ilmiah membuka “*hope spaces*” ruang harapan di mana siswa bukan hanya mempelajari dunia, tetapi juga membayangkan cara memperbaikinya. Dengan membekali siswa dengan pengetahuan dan sikap ilmiah, pendidikan berperan dalam membentuk warga negara yang kritis, empatik, dan etis dalam kehidupan sosial. Sedangkan John (2025) menekankan, inilah misi mendasar pendidikan global masa kini. Integrasi karakter ilmiah sudah menjadi keniscayaan dalam desain kurikulum yang relevan. Sekolah sebagai institusi sosial memiliki tanggung jawab besar untuk memastikan setiap tahapan pembelajaran mengarah pada terbentuknya generasi yang tidak hanya cerdas secara teknis, tetapi juga matang secara moral dan tangguh secara intelektual dalam menghadapi realitas yang dinamis dan kompleks.

## **BAB XI**

### **PENUTUP**

#### **A. Urgensi Penguatan Karakter Ilmiah**

Sepanjang pembahasan dalam buku ini jelas bahwa kehadiran kecerdasan buatan (AI) tidak bisa dianggap sekadar perkembangan teknologi biasa ini sudah jadi tantangan mendasar di dunia pendidikan, apalagi terkait pembentukan karakter generasi masa depan. AI memang telah mengubah wajah pembelajaran, pola interaksi siswa dan guru, juga cara memperoleh pengetahuan. Tetapi, kemajuan teknologi bukan berarti kualitas manusia langsung meningkat begitu saja. Dalam konteks ini, penanaman karakter ilmiah menjadi sangat krusial. Karakter ilmiah di sini meliputi sikap kritis, kejujuran terhadap data, keterbukaan pada perbedaan, keberanian bertanya, dan sikap skeptis yang konstruktif terhadap informasi. Buku ini menekankan karakter ilmiah bukan sekadar pelengkap literasi teknologi, melainkan pondasi etis dan epistemologis yang harus selalu menyertai penggunaan AI. Lewat eksplorasi empiris dan tinjauan teoretis yang dipaparkan, dapat disimpulkan bahwa tanpa karakter ilmiah, penggunaan AI dalam pendidikan hanya akan melahirkan generasi konsumen teknologi, bukan pembelajar aktif yang berkontribusi bagi perkembangan ilmu pengetahuan dan kehidupan masyarakat.

Dalam konteks pendidikan di Indonesia, urgensi penguatan karakter ilmiah ini makin terasa. Hal ini terlihat dari praktik pembelajaran yang masih didominasi pendekatan hafalan, budaya meniru, dan minimnya refleksi kritis. Kehadiran AI, bila tidak diimbangi penguatan nilai-nilai ilmiah, justru dapat memperburuk masalah dengan mempercepat konsumsi informasi tanpa pemahaman mendalam. Karenanya, buku ini menyimpulkan bahwa keberhasilan pendidikan tidak sekadar diukur dari kecanggihan teknologi yang digunakan di ruang kelas, melainkan dari bagaimana teknologi tersebut diintegrasikan dalam kerangka pedagogi yang membentuk akal, nurani, dan karakter siswa. Kesadaran ini menjadi benang merah di seluruh bab, mulai dari pembahasan potensi AI, tantangan karakter ilmiah, disparitas sekolah, hingga refleksi siswa terhadap pembelajaran berbasis AI. Menggabungkan kerangka etik, sains, dan kebijakan, buku ini menekankan bahwa pendidikan berkualitas hanya dapat tercapai jika teknologi dikelola dalam kerangka nilai dan karakter yang kuat.

Temuan penting lainnya ialah bahwa sekolah baik unggulan maupun umum sebenarnya memiliki peluang yang sama dalam menanamkan karakter ilmiah, meski efektivitasnya sangat tergantung pada visi pendidikan dan kualitas sumber daya manusia di dalamnya. Sekolah unggulan biasanya memiliki sumber daya dan program yang lebih terstruktur, tetapi tanpa

kepemimpinan visioner dan strategi kurikulum berbasis karakter ilmiah, keunggulan ini bisa saja kehilangan makna. Sementara itu, sekolah umum yang serba terbatas justru dapat menjadi tempat tumbuhnya karakter ilmiah yang otentik, asalkan berhasil membangun budaya pembelajaran reflektif, partisipatif, dan kolaboratif. Evaluasi pada bab sebelumnya juga menunjukkan, pendekatan partisipatif, berbasis proyek, serta integrasi AI yang kontekstual, jauh lebih efektif dalam memperkuat karakter ilmiah siswa dibandingkan metode pasif yang hanya mengandalkan materi digital.

Pada sisi kebijakan, buku ini menegaskan bahwa reformasi kurikulum tidak cukup hanya dengan menambah komponen AI atau literasi digital. Hal yang lebih mendasar adalah menata ulang kerangka nilai pendidikan, yakni dengan menempatkan karakter ilmiah sebagai prinsip utama dalam pengembangan materi, metode, maupun penilaian. Artinya, kebijakan pendidikan perlu berani beralih dari sekadar penguasaan konten menuju pembentukan cara berpikir ilmiah yang kritis, terbuka, dan empatik. Dalam kerangka ini, integrasi AI menjadi bermakna bukan hanya alat bantu teknis, melainkan juga medium pembelajaran yang dapat mendorong nalar, memicu diskusi, dan menantang siswa untuk menilai informasi secara mandiri. Kesimpulan ini menegaskan bahwa pendidikan yang baik adalah pendidikan yang menghasilkan pelajar yang tidak hanya mampu menjawab soal, tetapi juga mampu mempertanyakan realitas secara bertanggung jawab dan konstruktif.

Kesimpulan utama yang dapat ditarik dari sintesis pembahasan ini adalah bahwa karakter ilmiah harus menjadi kerangka transdisipliner dalam pembelajaran, bukan sekadar materi di pelajaran sains atau teknologi. Karakter ilmiah memiliki sifat universal relevan di semua disiplin. Dalam pembelajaran bahasa, misalnya, karakter ilmiah muncul lewat kemampuan menelaah argumen dan berpikir logis. Dalam ilmu sosial, karakter ini tampak dalam keterbukaan terhadap perspektif berbeda dan evaluasi kritis terhadap data historis. Sementara dalam pendidikan seni dan estetika, sikap ilmiah hadir melalui keberanian mengeksplorasi gagasan serta menguji asumsi. Maka, buku ini menegaskan bahwa integrasi karakter ilmiah seharusnya tidak diposisikan hanya sebagai tema tambahan, melainkan menjadi fondasi nilai yang membingkai seluruh pendekatan pembelajaran dari perencanaan kurikulum hingga evaluasi hasil belajar siswa secara menyeluruh dan berkesinambungan.

Salah satu temuan konseptual penting yang digarisbawahi dalam buku ini adalah bahwa karakter ilmiah tidak terbentuk hanya melalui instruksi lisan atau penugasan rutin. Pembentukan karakter ilmiah menuntut keterlibatan aktif siswa dalam pencarian makna dan pemecahan masalah nyata. Ketika siswa diposisikan sebagai subjek pembelajaran aktif, mereka mulai memahami bahwa pengetahuan merupakan proses konstruksi, bukan sekadar

konsumsi informasi. Dalam konteks ini, pemanfaatan teknologi AI secara pedagogis sangat potensial misalnya untuk eksplorasi data visual, simulasi pembelajaran berbasis masalah, atau diskusi reflektif dengan chatbot. Namun, jika AI hanya digunakan sebatas drill and practice atau mempercepat akses jawaban, potensi transformasionalnya justru hilang. Akhirnya, kesimpulan ini menegaskan bahwa karakter ilmiah harus menjadi nilai utama dalam pemanfaatan AI di lingkungan belajar, bukan hanya fitur tambahan dari digitalisasi pendidikan.

Selain itu, kesadaran kritis terhadap risiko AI juga merupakan bagian integral dari pembentukan karakter ilmiah. Buku ini konsisten menyoroti bahwa AI bukanlah entitas netral. AI membawa dampak etis, sosial, bahkan epistemologis yang dapat membentuk cara siswa memahami kebenaran dan otoritas pengetahuan. Karena itu, pendidikan berbasis AI perlu dibarengi dengan kemampuan mengkritisi sistem algoritmik, memahami bias data, serta mempertanyakan siapa yang mendesain dan mengendalikan teknologi yang digunakan. Pendekatan semacam ini selaras dengan kebutuhan abad ke-21, yang menempatkan critical digital literacy sebagai kompetensi inti dalam kurikulum masa kini. Singkatnya, karakter ilmiah tidak hanya menyangkut kemampuan berpikir rasional dan logis, tetapi juga mencakup tanggung jawab menghadapi kompleksitas informasi, kesadaran etis, dan keberanian mengkritisi ketimpangan yang tersembunyi di balik kemajuan teknologi.

Buku ini menyimpulkan bahwa pembentukan karakter ilmiah tidak dapat dibebankan hanya kepada guru sains atau pelatihan teknis, melainkan membutuhkan dukungan sistemik seluruh ekosistem pendidikan. Ini melibatkan kepala sekolah dalam membangun visi pendidikan holistik, peran orang tua dalam menanamkan sikap reflektif di rumah, serta kebijakan publik yang menempatkan nilai-nilai ilmiah sebagai landasan dalam pengambilan keputusan pendidikan. Kesimpulan ini semakin memperjelas bahwa keberhasilan integrasi AI dalam pendidikan sangat bergantung pada keberhasilan pembentukan karakter ilmiah yang meresap pada seluruh aktor pendidikan. Berdasarkan hal tersebut, tantangan ke depan bukan sekadar memperluas akses terhadap teknologi, melainkan memastikan setiap inovasi pendidikan berbasis AI benar-benar berakar pada budaya berpikir ilmiah yang humanis, kritis, dan reflektif.

Kesimpulan penting yang dapat diambil adalah bahwa keberhasilan pendidikan di era AI tidak dapat hanya diukur dari seberapa cepat siswa menguasai teknologi atau menyelesaikan soal dengan bantuan algoritma. Hal yang justru lebih esensial adalah sejauh mana siswa memahami proses berpikir yang melandasi jawaban yang mereka hasilkan. Dalam konteks ini, karakter ilmiah berperan sebagai jembatan yang menghubungkan pemanfaatan AI dengan makna pembelajaran yang lebih dalam. Siswa dengan karakter ilmiah tidak akan merasa cukup hanya dengan jawaban instan; mereka ter dorong

untuk bertanya, menelusuri sumber, dan membangun argumen berdasarkan bukti. AI bukan semata-mata alat bantu, melainkan bagian dari ekosistem intelektual yang mampu memperkuat pemahaman konseptual dan pembentukan identitas keilmuan. Buku ini menekankan bahwa nilai strategis AI dalam pendidikan terletak pada kemampuannya mendorong siswa berpikir seperti ilmuwan, bukan sekadar menjawab seperti mesin.

Lalu, buku ini menyoroti urgensi penyadaran kolektif di kalangan pendidik mengenai pentingnya menanamkan karakter ilmiah sejak dini, terutama sebagai respons terhadap maraknya tren disinformasi dan budaya instan dalam ruang digital. Ketika siswa terbiasa berpikir secara metodologis dan argumentatif, mereka tidak mudah terpengaruh oleh narasi manipulatif, baik berupa berita palsu maupun opini tanpa dasar. Artinya, dapat disimpulkan bahwa karakter ilmiah merupakan fondasi utama dalam membangun ketahanan intelektual generasi muda. Di tengah banjir informasi yang sering kali minim validasi, siswa membutuhkan keterampilan berpikir ilmiah, tidak hanya untuk belajar, tetapi juga untuk bertahan secara intelektual dan moral. Penanaman karakter ilmiah menjadi langkah strategis untuk menciptakan pelajar yang tidak hanya cerdas, tetapi juga bijaksana dalam menghadapi kemajuan teknologi yang disruptif.

Kesimpulan strategis lain yang diangkat dalam buku ini adalah pentingnya menjadikan kebijakan pendidikan sebagai instrumen transformasi karakter, bukan sekadar regulasi administratif. Saat ini, banyak kebijakan pendidikan yang berfokus pada digitalisasi dan efisiensi sistem pembelajaran, namun belum secara eksplisit mengintegrasikan penguatan karakter ilmiah sebagai tujuan kebijakan. Dalam konteks ini, reformasi kebijakan perlu dilakukan dengan merujuk pada temuan empiris yang menunjukkan korelasi positif antara pembentukan karakter ilmiah dan peningkatan kualitas pendidikan. Dengan demikian, penguatan karakter ilmiah perlu diintegrasikan ke dalam arsitektur kebijakan pendidikan, termasuk pada standar kurikulum, indikator asesmen, dan pelatihan guru. Tanpa dukungan kebijakan yang memadai, upaya penanaman karakter ilmiah berisiko menjadi inisiatif parsial yang tidak berkelanjutan.

Sebagai penutup, dapat disimpulkan bahwa karakter ilmiah merupakan prasyarat mutlak bagi keberhasilan pendidikan yang adaptif, etis, dan relevan di era kecerdasan buatan. Pendidikan yang hanya mengandalkan teknologi tanpa nilai-nilai dasar akan menghasilkan generasi yang cepat secara teknis tetapi rapuh dari segi kognitif dan moral. Buku ini menegaskan bahwa penanaman karakter ilmiah bukanlah pilihan, melainkan kebutuhan mendesak dalam membangun fondasi pendidikan modern. Dalam konteks pendidikan di Indonesia, kesimpulan ini menjadi pengingat bahwa transformasi teknologi harus selalu berjalan seiring dengan transformasi nilai. Ke depan, harapan untuk membentuk generasi pembelajar yang mandiri, kritis, dan bertanggung

jawab tidak hanya menjadi wacana, melainkan menjadi arah nyata dalam perjalanan pendidikan nasional menuju masa depan yang berkelanjutan dan berorientasi pada nilai-nilai kemanusiaan.

## B. Integrasi Kecerdasan Buatan (AI)

Sebagai tindak lanjut dari berbagai temuan dan pembahasan dalam buku ini, jelas penting untuk memberikan saran konkret yang dapat menjadi dasar pengembangan penelitian dan praktik pendidikan ke depan. Penanaman karakter ilmiah yang terintegrasi dengan teknologi kecerdasan buatan memang masih minim dieksplorasi secara sistematis dalam konteks pendidikan Indonesia. Penelitian lanjutan sebaiknya tidak hanya memperluas cakupan wilayah kajian, melainkan juga mendalami dimensi karakter ilmiah secara lebih spesifik, seperti kemampuan berpikir reflektif, keterbukaan terhadap data, serta integritas akademik dalam pemanfaatan teknologi. Pendekatan lintas disiplin, baik melalui penelitian kuantitatif maupun kualitatif, sangat berpotensi memperkuat model pendidikan yang responsif terhadap perkembangan zaman dan tetap berpijak pada nilai-nilai keilmuan.

Selain itu, pengembangan karakter ilmiah tidak dapat dipisahkan dari desain pembelajaran yang inovatif. Studi-studi lanjutan disarankan mengeksplorasi integrasi antara metode pembelajaran berbasis proyek, penggunaan alat bantu kecerdasan buatan, dan pembentukan karakter ilmiah. Misalnya, pembelajaran berbasis riset atau *inquiry learning* yang didukung oleh AI dapat meningkatkan kemampuan analitis dan argumentatif siswa, sekaligus memperkuat kesadaran ilmiah. Dalam hal ini, diperlukan pendekatan evaluatif jangka panjang, termasuk observasi terhadap dampak nyata program pembelajaran terhadap sikap dan kebiasaan belajar siswa.

Rekomendasi lain yang mendesak adalah pentingnya studi longitudinal yang mampu merekam perubahan karakter ilmiah siswa dalam jangka waktu tertentu dan di berbagai konteks. Studi demikian dapat memberikan perbandingan antara pola perkembangan karakter ilmiah siswa di sekolah yang telah menerapkan teknologi secara aktif dengan siswa di sekolah yang infrastrukturnya masih terbatas. Harapannya, data yang dihasilkan akan lebih akurat dan mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai sejauh mana AI dapat memperkuat, atau bahkan mengaburkan, tujuan pendidikan karakter dalam bidang keilmuan.

Dalam konteks kebijakan, studi lanjutan juga perlu difokuskan pada peran kepala sekolah, guru, dan pengembang kurikulum dalam merancang program yang mendukung karakter ilmiah berbasis teknologi. Kajian terhadap kebijakan mikro di satuan pendidikan sangat penting untuk memahami hambatan serta peluang nyata dalam implementasi program pembelajaran berbasis AI. Berusaha menempatkan sekolah sebagai laboratorium praktik

kebijakan, peneliti dapat menyusun rekomendasi kebijakan yang lebih adaptif dan kontekstual, sekaligus mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Satu poin penting yang tidak boleh diabaikan adalah pentingnya menggali dimensi budaya lokal, serta bagaimana nilai-nilai tersebut dapat dipadukan dengan pengembangan karakter ilmiah. Hal ini sangat relevan, mengingat pendidikan di Indonesia tidak bisa dilepaskan dari keragaman sosial-budaya yang ada. Maka, memang diperlukan adanya studi lanjutan yang secara khusus mengkaji pengembangan karakter ilmiah dalam konteks budaya tertentu, tanpa harus mengorbankan kearifan lokal. Pendekatan seperti ini akan memperkuat akar pendidikan nasional dan meminimalisir kecenderungan sekadar mengikuti tren global tanpa melakukan adaptasi yang bermakna.

Berdasarkan sisi implementasi teknis, riset-riset ke depan diharapkan mampu melakukan evaluasi yang mendalam mengenai efektivitas berbagai platform atau aplikasi AI dalam mendukung penguatan karakter ilmiah. Meskipun saat ini banyak aplikasi edukatif yang beredar, tidak semuanya dirancang dengan pendekatan pedagogis yang tepat. Karena itu, peneliti dan pengembang teknologi pendidikan seyoginya mengembangkan sistem AI yang tidak hanya mengutamakan kecepatan akses informasi, tetapi juga berfokus pada pembentukan proses berpikir kritis, analitis, dan sistematis pada peserta didik. Kolaborasi lintas bidang antara pakar teknologi, pendidik, dan psikolog pendidikan menjadi sangat penting dalam merumuskan arah pengembangan teknologi pendidikan yang lebih komprehensif.

Sementara itu, pengembangan program pelatihan guru dan dosen juga menjadi aspek yang perlu menjadi perhatian dalam penelitian selanjutnya. Integrasi karakter ilmiah ke dalam kurikulum tidak akan berjalan optimal tanpa adanya kapasitas tenaga pendidik yang memadai. Karenanya, kajian tentang kesiapan dan kebutuhan guru dalam menerapkan pendekatan pedagogis berbasis AI dan karakter ilmiah menjadi sangat urgen. Penelitian semacam ini dapat mengidentifikasi strategi pelatihan yang paling efektif, hambatan di lapangan, serta praktik-praktik baik yang dapat direplikasi secara nasional.

Secara umum, buku ini diharapkan dapat menjadi fondasi awal bagi terbangunnya ekosistem riset yang berkelanjutan mengenai keterkaitan antara karakter ilmiah dan teknologi pendidikan. Para peneliti didorong memandang buku ini bukan sebagai akhir diskursus, melainkan sebagai titik awal eksplorasi topik-topik baru termasuk etika penggunaan AI dalam pendidikan, desain kurikulum berbasis karakter, serta pengembangan indikator asesmen yang mampu mengukur proses ilmiah secara menyeluruh. Semakin banyak penelitian yang dilakukan, semakin kaya pula pemahaman kita terkait dinamika pendidikan di era kemajuan teknologi.

Terakhir, penting ditegaskan bahwa saran-saran dalam buku ini tidak hanya ditujukan bagi komunitas akademik atau institusi pendidikan, melainkan juga bagi para pemangku kebijakan, pengembang teknologi, serta masyarakat secara luas. Penguatan karakter ilmiah dan pemanfaatan AI dalam pendidikan merupakan isu strategis yang membutuhkan keterlibatan dari berbagai sektor. Besar harapan bahwa buku ini dapat mendorong dialog produktif, kolaborasi multisektoral, serta melahirkan kebijakan dan program yang mendukung pengembangan pendidikan yang etis, kritis, dan transformatif. Dengan demikian, pendidikan Indonesia dapat tetap relevan dengan perkembangan zaman, sekaligus berakar kuat pada nilai-nilai keilmuan yang kokoh dan humanistik.

### C. Kontribusi Teknologi AI dengan Karakter Ilmiah

Tujuan utama penulisan buku ini jelas, berkontribusi nyata bagi kemajuan pendidikan di Indonesia khususnya dalam merangkai potensi teknologi kecerdasan buatan dengan penanaman karakter ilmiah. Sejak awal proses penyusunan, penulis menjadikan visi ini sebagai benang merah yang menautkan tiap bab, dengan komitmen agar pembahasan tidak berhenti pada deskripsi semata, melainkan juga mengandung analisis tajam serta tawaran solusi yang implementatif. Buku ini lahir dari keyakinan mendalam bahwa masa depan pendidikan tidak cukup hanya bertumpu pada metode konvensional, melainkan perlu pendekatan yang adaptif, kolaboratif, dan tetap berpijakan pada nilai-nilai ilmiah yang kokoh. Penulis berharap karya ini dapat menjadi panduan dan inspirasi bagi para pendidik, perumus kebijakan, serta praktisi pendidikan, dalam merancang strategi pembelajaran yang relevan dengan kemajuan teknologi tanpa mengorbankan kualitas karakter peserta didik. Dalam konteks ini, penulis juga ingin menegaskan bahwa keberhasilan pendidikan di era digital bukan semata-mata diukur melalui capaian akademik, namun juga melalui kemampuan membentuk individu yang berpikir kritis, jujur, terbuka, serta memiliki kepedulian sosial. Maka, tujuan pokok dari penulisan buku ini adalah mempersiapkan generasi yang tidak hanya cakap memanfaatkan teknologi, tetapi juga bijak dalam penggunaannya demi kepentingan bersama dan keberlanjutan bangsa.

Harapan penulis, buku ini dapat memberikan dampak langsung bagi dunia pendidikan, khususnya pada tataran praktis di kelas. Gagasan, konsep, dan strategi yang diuraikan diharapkan menjadi referensi yang mudah dipahami dan diterapkan oleh guru, dosen, maupun fasilitator pembelajaran. Harapan ini tidak sebatas pada aspek akademik, tetapi juga pada pembentukan kebiasaan berpikir ilmiah sejak dini di kalangan siswa. Penulis ingin agar buku ini mampu memantik rasa ingin tahu, memotivasi eksplorasi pengetahuan, serta menginspirasi pembelajaran berbasis proyek yang relevan dengan dunia

nyata. Melalui penggabungan pemahaman teknologi AI dan prinsip karakter ilmiah, penulis percaya pembelajaran akan menjadi lebih bermakna, sebab tidak hanya mempersiapkan siswa menghadapi ujian sekolah, melainkan juga tantangan kehidupan yang lebih kompleks dan dinamis. Dampak langsung yang diharapkan pun mencakup peningkatan hasil belajar sekaligus terbentuknya sikap kritis, kolaboratif, dan adaptif pada peserta didik. Karenanya, buku ini diharapkan menjadi katalis perubahan yang memperkuat sinergi antara teknologi dan nilai-nilai kemanusiaan dalam pendidikan.

Pada cakupan yang lebih luas, penulis menaruh harapan besar agar buku ini mampu berkontribusi terhadap peningkatan kualitas pendidikan Indonesia. Harapan tersebut meliputi lahirnya kebijakan yang lebih visioner, kurikulum yang responsif, serta praktik pembelajaran yang lebih inklusif terhadap perkembangan teknologi. Penulis meyakini bahwa pembaruan pendidikan harus berorientasi pada dua hal, yakni kesiapan menghadapi tantangan global serta penguatan identitas nasional. Integrasi AI dan karakter ilmiah diharapkan menjadi salah satu strategi untuk meraih keseimbangan tersebut, sehingga peserta didik mampu bersaing di tingkat internasional tanpa kehilangan akar budaya dan nilai moralnya. Buku ini diharapkan dapat mendorong para pemangku kepentingan untuk memandang pendidikan bukan sekadar media transfer pengetahuan, tetapi sebagai proses pembentukan manusia seutuhnya. Dengan dukungan kebijakan yang berpihak pada pengembangan karakter, pelatihan guru yang memadai, serta penyediaan infrastruktur teknologi yang merata, penulis meyakini bahwa sistem pendidikan Indonesia dapat tumbuh menjadi lebih adaptif, inovatif, dan relevan dengan kebutuhan abad ke-21.

Penulis berharap buku ini tidak hanya berdampak pada kebijakan dan praktik pendidikan, tetapi juga menjadi titik awal bagi studi-studi lanjutan yang membahas lebih dalam keterkaitan antara teknologi, karakter ilmiah, dan proses pembelajaran. Dunia pendidikan pada dasarnya merupakan ekosistem yang sangat dinamis, sehingga kebutuhan akan penelitian dan kajian lanjutan tak bisa dihindari untuk terus menyesuaikan strategi pembelajaran dengan perkembangan zaman. Diharapkan, para akademisi, peneliti, maupun mahasiswa dapat menggunakan buku ini sebagai pijakan awal untuk mengeksplorasi tema seperti etika penggunaan AI dalam pendidikan, model pembelajaran adaptif, atau pengaruh pembelajaran berbasis karakter ilmiah terhadap prestasi siswa dalam jangka panjang. Dengan memperkaya literatur akademik di bidang ini, terbuka peluang untuk menemukan pendekatan yang lebih efektif dan relevan, sekaligus membangun jembatan antara teori dan praktik pendidikan yang sesuai dengan konteks Indonesia.

Harapan lain yang juga penting adalah meningkatnya kesadaran dan keterlibatan publik terhadap isu-isu yang diangkat di dalam buku ini. Penulis memandang bahwa keberhasilan pendidikan bukan hanya menjadi tanggung jawab sekolah atau guru, melainkan juga keluarga, masyarakat, dan dunia

usaha. Dengan memahami pentingnya integrasi AI dan karakter ilmiah, diharapkan seluruh pihak dapat berperan aktif, baik melalui dukungan moral, penyediaan sumber daya, maupun keterlibatan dalam program-program pendidikan yang inovatif. Buku ini diharapkan dapat menjadi bahan diskusi lintas sektor, memunculkan kolaborasi antara lembaga pendidikan, pemerintah, komunitas, dan industri, untuk menciptakan ekosistem belajar yang berkelanjutan. Kesadaran publik yang tinggi akan memperkuat dukungan sosial terhadap berbagai inisiatif pendidikan, sehingga pembaruan yang dilakukan tidak hanya berhenti pada tataran konsep, melainkan benar-benar terimplementasi secara luas dan berkesinambungan.

Keberlanjutan ide-ide yang tertuang di dalam buku ini juga menjadi harapan utama penulis. Gagasan mengenai integrasi karakter ilmiah dan pemanfaatan AI seharusnya tidak berhenti di tataran wacana atau sekadar diskusi akademis, melainkan berkembang menjadi praktik berkelanjutan di berbagai jenjang pendidikan. Penulis berharap materi dan prinsip yang disampaikan dapat terus diadaptasi, diperbarui, dan disesuaikan sesuai dengan kemajuan teknologi dan perubahan kebutuhan masyarakat. Alhasil, relevansi buku ini tetap terjaga di tengah perubahan zaman yang begitu cepat. Penulis juga mendorong para pembaca, baik pendidik maupun peneliti, untuk tidak ragu berinovasi, memperluas konsep yang ada, dan menciptakan model-model baru yang lebih efektif. Keberlanjutan ide bukan sekadar mempertahankan gagasan yang telah ada, tetapi juga kemampuan untuk menghidupkannya kembali dalam bentuk yang segar, kreatif, dan adaptif terhadap tantangan masa kini.

Penulis membayangkan buku ini sebagai jembatan yang menghubungkan generasi pendidik saat ini dengan generasi pendidik di masa depan. Dunia pendidikan selalu mengalami pergantian pelaku, dan keberlangsungan nilai-nilai karakter ilmiah sangat bergantung pada kemampuan setiap generasi untuk mewariskan prinsip-prinsip tersebut secara utuh. Penulis berharap buku ini dapat digunakan tidak hanya di ruang kelas atau forum akademik, tetapi juga dalam program pelatihan guru, workshop pendidikan, maupun kegiatan literasi masyarakat. Dengan penyebaran yang luas, penulis berharap buku ini menjadi salah satu referensi yang menanamkan kesadaran bahwa keberhasilan pendidikan di era digital tidak hanya ditentukan oleh penguasaan teknologi, tetapi juga oleh keseimbangan antara kecerdasan intelektual dan integritas moral. Warisan ini diharapkan terus menginspirasi pendidik baru untuk mengajarkan ilmu dengan hati, akal, dan nurani yang jernih.

Pada setiap proses penyusunan buku ini, penulis juga menyadari bahwa tantangan di dunia pendidikan tidak akan pernah berhenti. Harapan yang melekat pada buku ini bukanlah untuk memberikan jawaban final, melainkan untuk membuka ruang dialog yang lebih luas. Penulis ingin agar pembaca

memandang buku ini sebagai undangan untuk berdiskusi, bertukar gagasan, dan mengembangkan pendekatan baru yang lebih relevan dengan konteks masing-masing. Kesediaan untuk mendengarkan, belajar, dan menyesuaikan diri menjadi kunci agar gagasan dalam buku ini tetap hidup dan relevan. Dengan demikian, meskipun isi buku ini lahir dari perspektif tertentu, penulis berharap buku ini dapat menjadi sumber inspirasi yang lentur dan mampu disesuaikan dengan keragaman budaya, kondisi sosial, dan tantangan pendidikan di berbagai daerah di Indonesia. Dialog yang berkelanjutan akan memastikan bahwa semangat perubahan dan perbaikan selalu terjaga.

Sebagai penutup, penulis ingin menyampaikan pesan pribadi kepada para pembaca. Buku ini merupakan hasil dari perjalanan yang panjang, melibatkan riset, refleksi, serta interaksi dengan berbagai pihak yang peduli terhadap masa depan pendidikan. Penulis berharap setiap pembaca tidak hanya memperoleh pengetahuan baru, tetapi juga mendapat dorongan moral untuk ikut serta memperbaiki pendidikan di lingkungan masing-masing. Tidak ada perubahan besar yang lahir dari satu individu saja; perubahan sejati terjadi ketika banyak orang bergerak bersama dan berkontribusi sesuai peran serta kemampuannya. Penulis menaruh harapan agar semangat yang terkandung dalam buku ini dapat dibawa pulang, diperaktikkan dalam kehidupan sehari-hari, dan diteruskan kepada generasi berikutnya. Maka dari itu, cita-cita akan pendidikan yang berkarakter ilmiah dan berdaya saing di era kecerdasan buatan dapat benar-benar terwujud dan menjadi kebanggaan bersama.

## DAFTAR PUSTAKA

- Akgün, B., & Alpaydın, Y. (2022). *Education Policies in the 21st Century: Comparative Perspectives* (B. Akgün & Y. Alpaydın (Ed.)). Springer Nature Singapore Pte Ltd. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-19-1604-5](https://doi.org/10.1007/978-981-19-1604-5)
- Akgün, B., & Alpaydın, Y. (2024). *Global Agendas and Education Reforms: A Comparative Study* (B. Akgün & Y. Alpaydın (Ed.)). Springer Nature Singapore Pte Ltd. [https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-97-3068-1](https://doi.org/10.1007/978-981-97-3068-1)
- Alpaydin, Y., & Demirli, C. (2022). *Educational Theory in the 21st Century: Science, Technology, Society and Education* (Y. Alpaydin & C. Demirli (Ed.)). Springer Nature Singapore. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-9640-4>
- Araya, D., & Marber, P. (2023). *Augmented Education in the Global Age Artificial Intelligence and the Future of Learning and Work*. Routledge. [https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781003230762](https://doi.org/10.4324/9781003230762)
- Biele, C., Kacprzyk, J., Kopeć, W., Owsiński, J. W., Romanowski, A., & Sikorski, M. (2022). *Digital Interaction and Machine Intelligence*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-11432-8>
- Bower, M., & von Mengersen, B. (Ed.). (2025). *Creative Technologies Education Students as Digital Designers*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003490715>
- Bunnell, T. (2022). The crypto-growth of “International Schooling”: emergent issues and implications. *Educational Review*, 74(1), 39–56. <https://doi.org/10.1080/00131911.2021.1907316>
- Care, E., Giacomazzi, M., & Mugo, J. K. (2024). *The Contextualisation of 21st Century Skills Assessment in East Africa*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-51490-6>
- Chandir, H., & Blackmore, J. (2024). Situated enactments of global competence in three schools in Victoria. *Journal of Education Policy*, 39(5), 817–837. <https://doi.org/10.1080/02680939.2023.2299471>
- Conti, L., & Lenehan, F. (Ed.). (2024). *Lifewide Learning in Postdigital Societies: Shedding Light on Emerging Culturalities*. transcript Verlag. <https://doi.org/https://doi.org/10.14361/9783839468890>
- Edwards, S., & Straker, L. (Ed.). (2025). *Young Children in Digital Society Now and into the Future*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781003460930>
- Fan, G., & Popkewitz, T. S. (2020). *Handbook of Education Policy Studies*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-13-8347-2>

- Ferber, R. (2015). Key Concepts in Philosophy: An Introduction (L. Löb, penerj.). In *Key Concepts in Philosophy*. Academia Verlag. <https://doi.org/10.5771/9783896658050>
- Gehrman, A., & Germer, P. (2025). *Teacher Shortage in International Perspectives: Insights and Responses – Non-Traditional Pathways to the Teacher Profession* (A. Gehrman & P. Germer (Ed.)). Springer VS (Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH). <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-658-45398-5>
- Glückler, J., & Panitz, R. (2024). Knowledge and Digital Technology. In *Klaus Tschira Symposia Knowledge and Space* (Vol. 19). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-39101-9>
- Goodman, J., & Ferret, O. (Ed.). (2021). *The Philosophes by Charles Palissot*. Open Book Publishers. <https://doi.org/https://doi.org/10.11647/OPB.0201>
- Grant, T. D., & Wischik, D. J. (2020). *On the path to AI Law's prophecies and the conceptual foundations of the machine learning age*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-43582-0>
- Grey, S., & Morris, P. (2024). Capturing the spark: PISA, twenty-first century skills and the reconstruction of creativity. *Globalisation, Societies and Education*, 22(2), 156–171. <https://doi.org/10.1080/14767724.2022.2100981>
- Guarcello, E., & Longo, A. (Ed.). (2024). *School Children and the Challenge of Managing AI Technologies Fostering a Critical Relationship through Aesthetic Experiences*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781032694283>
- Henseke, G., Anders, J., Green, F., & Henderson, M. (2021). Income, housing wealth, and private school access in Britain. *Education Economics*, 29(3), 252–268. <https://doi.org/10.1080/09645292.2021.1874878>
- Höhl, A. E. (2024). *Scientific Understanding What It Is and How It Is Achieved*. transcript Verlag. <https://doi.org/https://doi.org/10.14361/9783839472620>
- Holzer, A., & Daumiller, M. (2025). Building trust in the classroom: perspectives from students and teachers. *European Journal of Psychology of Education*, 40(62), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s10212-025-00961-7>
- John, M. (Ed.). (2025). *The Routledge Handbook of Global Sustainability Education and Thinking for the 21st Century*. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781003171577>
- Klimczak, P., & Petersen, C. (Ed.). (2023). *AI - Limits and Prospects of Artificial Intelligence*. transcript Verlag. <https://doi.org/https://doi.org/10.14361/9783839457320>

- Kullberg, A., Ingerman, Å., & Marton, F. (2024). *Planning and Analyzing Teaching Using the Variation Theory of Learning*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781003194903>
- Maulana, R., Helms-Lorenz, M., & Klassen, R. M. (2023). *Effective Teaching Around the World: Theoretical, Empirical, Methodological and Practical Insights* (R. Maulana, M. Helms-Lorenz, & R. M. Klassen (Ed.)). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-31678-4>
- Muchlas Abrori, F., Lavicza, Z., & Andić, B. (2023). Enhancing socio-scientific reasoning of elementary school students through educational comics: a comprehensive exploration across diverse domain of knowledge. *Education*, 3(13), 1–22. <https://doi.org/10.1080/03004279.2023.2266457>
- Niemi, H., Pea, R. D., & Lu, Y. (2023). AI in Learning: Designing the Future. In H. Niemi, R. D. Pea, & Y. Lu (Ed.), *AI in Learning: Designing the Future*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-09687-7>
- Okada, A. (2025). *Knowledge Cartography for Young Thinkers Sustainability Issues, Mapping Techniques and AI Tools*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-54677-8>
- Osman, Y. (2024). Understanding how to develop an effective role-modelling character education programme in Saudi Arabia. *Globalisation, Societies and Education*, 1–16. <https://doi.org/10.1080/14767724.2024.2330363>
- Prøitz, T. S., Aasen, P., & Wermke, W. (2023). *From Education Policy to Education Practice: Unpacking the Nexus* (T. S. Prøitz, P. Aasen, & W. Wermke (Ed.)). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-36970-4>
- Reimers, F. M. (2020). *Educating Students to Improve the World*. Springer Nature Singapore Pte Ltd. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-981-15-3887-2>
- Reimers, F. M. (2021). *Implementing Deeper Learning and 21st Education Reforms: Building an Education Renaissance After a Global Pandemic* (F. M. Reimers (Ed.)). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-57039-2>
- Richardson, M. (2022). *Rebuilding Public Confidence in Educational Assessment*. UCL Press. <https://doi.org/https://doi.org/10.14324/111.9781787357242>
- Sakamoto, M., Yamaguchi, E., Yamamoto, T., & Wakabayashi, K. (2021). An intervention study on students' decision-making towards consensus building on socio-scientific issues. *International Journal of Science Education*, 43(12), 1965–1983. <https://doi.org/10.1080/09500693.2021.1947541>

- Salone, C. J., Thornton, B. E., Chiappe, J. C., Perez, C., Rearick, M. K., & Falvey, M. A. (2020). Creating collaborative schools in the united states: A review of best practices. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 12(3), 283–292. <https://doi.org/10.26822/iejee.2020358222>
- Stacey, M., & Mockler, N. (Ed.). (2024). *Analysing Education Policy Theory and Method*. Routledge. <https://doi.org/https://doi.org/10.4324/9781003353379>
- Stahl, B. C. (2021). *Artificial Intelligence for a Better Future An Ecosystem Perspective on the Ethics of AI and Emerging Digital Technologies*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-69978-9>
- Steffen, B. (2025). *Bridging the Gap Between AI and Reality First International Conference, AISoLA 2023, Crete, Greece, October 23–28, 2023, Selected Papers*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-031-73741-1>
- Urmeneta, A., & Romero, M. (2024). *Creative Applications of Artificial Intelligence in Education* (A. Urmeneta & M. Romero (Ed.)). Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-031-55272-4>
- Veprek, L. H. (2024). *At the Edge of AI Human Computation Systems and Their Intraverting Relations*. transcript Verlag. <https://doi.org/https://doi.org/10.14361/9783839472286>
- von Braun, J., Archer, M. S., Reichberg, G. M., & Sorondo, M. S. (2021). *Robotics, AI and Humanity Science, Ethics, and Policy*. Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/https://doi.org/10.1007/978-3-030-54173-6>

