

Pengembangan Modul Ajar Digital Berbasis Situs Web untuk Pembelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial di Kelas X

Sella Juli Anisa^{1*}, Leon Andretti Abdillah²

^{1,2} Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Bina Darma, Kota Palembang, Provinsi Sumatera Selatan, Indonesia.

ABSTRACT

Learning coding and artificial intelligence requires accessible, structured, and interactive learning resources. This study aims to develop and evaluate the feasibility of a web-based digital teaching module for Grade X students at SMA Negeri 1 Palembang. This research and development study applied the 4D model comprising Define, Design, Develop, and Disseminate stages. Data on learning needs were collected through observation, interviews, documentation, and a literature review. The product was designed using Figma and implemented with HTML, CSS, and JavaScript as a responsive website. The module consists of six chapters, visual learning materials, digital flipbooks, structured navigation, and twenty practice questions per chapter. Expert validation involved 11 material experts, 10 media experts, and 8 language experts, yielding feasibility scores of 98.18%, 93.00%, and 100.00%, respectively; all fell into the highly feasible category. The module is therefore considered feasible as a supporting learning resource. Its effectiveness and direct usability for Grade X students cannot yet be concluded because valid student-response data were unavailable.

ABSTRAK

Pembelajaran koding dan kecerdasan artifisial membutuhkan sumber belajar yang mudah diakses, terstruktur, dan interaktif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menilai kelayakan modul ajar digital berbasis web bagi siswa kelas X SMA Negeri 1 Palembang. Penelitian pengembangan (Research and Development) ini menggunakan model 4D yang meliputi tahap Define, Design, Develop, dan Disseminate. Data kebutuhan dikumpulkan melalui observasi, wawancara, dokumentasi, dan studi literatur. Produk dirancang menggunakan Figma serta dikembangkan dengan HTML, CSS, dan JavaScript sebagai situs web responsif. Modul ini memuat enam bab materi, media visual, flipbook digital, sistem navigasi, serta dua puluh butir soal latihan pada setiap bab. Validasi melibatkan 11 ahli materi, 10 ahli media, dan 8 ahli bahasa dengan hasil kelayakan berturut-turut sebesar 98,18%, 93,00%, dan 100,00%, yang seluruhnya berada pada kategori sangat layak. Modul ajar digital ini dinyatakan layak digunakan sebagai sumber belajar pendukung. Efektivitas dan kebergunaan langsung bagi siswa kelas X belum dapat disimpulkan karena data respons siswa yang sah belum tersedia.

ARTICLE HISTORY

Received: 17 September 2026.
Revised: 19 September 2026.
Accepted: 15 October 2026.
Available Online: 30 October 2026.
Published: 1 December 2026.

KEYWORDS

4d Model; Artificial Intelligence;
Coding; Digital Teaching Module;
Web-Based Learning.

KATA KUNCI

Kecerdasan Artifisial; Koding;
Model 4d; Modul Ajar Digital;
Pembelajaran Berbasis Web.

1. Pendahuluan

Transformasi digital dalam lanskap pendidikan menengah telah mendorong perubahan mendasar terhadap paradigma perancangan, penyampaian, dan akses materi pembelajaran. Integrasi teknologi ke dalam proses belajar tidak lagi terbatas pada digitalisasi dokumen fisik semata, melainkan mengarah pada penciptaan lingkungan belajar terpadu yang menggabungkan teks, elemen visual, simulasi interaktif, latihan mandiri, dan mekanisme umpan balik langsung. Pemanfaatan media pembelajaran digital interaktif terbukti mampu memperluas fleksibilitas belajar, memperkuat daya serap kognitif, serta menumbuhkan kemandirian peserta didik dalam mengeksplorasi konsep-konsep baru (Alyusftri *et al.*, 2024; Amini & Usmeldi, 2022). Selain itu, berbagai praktik pengembangan materi digital, video pembelajaran terstruktur, aplikasi *augmented reality*, serta optimalisasi ekosistem digital menegaskan bahwa keberhasilan inovasi pembelajaran sangat ditentukan oleh kesiapan pendidik dan ketepatan perancangan konten yang berorientasi pada kebutuhan pengguna (Abdillah, Aprilia, *et al.*, 2023; Abdillah, Azdy, *et al.*, 2024; Alfaraibi & Abdillah, 2024). Kebutuhan akan media pembelajaran yang adaptif dan terstruktur menjadi semakin mendesak seiring dengan diterapkannya mata pelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial (KKA) pada jenjang Sekolah Menengah Atas, khususnya kelas X. Kurikulum KKA menuntut penguasaan kompetensi tingkat tinggi yang mencakup penalaran berpikir komputasional (*computational thinking*), logika dan struktur pemrograman, pemahaman dasar kecerdasan artifisial (*artificial intelligence/AI*), etika penggunaan teknologi, hingga kemampuan manajemen informasi digital. Kajian literasi kecerdasan artifisial menunjukkan bahwa pembelajaran AI di tingkat sekolah menengah tidak cukup hanya mengenalkan penggunaan aplikasi cerdas secara praktis, melainkan harus membekali siswa dengan pemahaman mengenai cara kerja sistem cerdas, mitigasi bias data, perlindungan privasi informasi, evaluasi kritis terhadap keluaran model, serta pertimbangan implikasi etis dari automasi teknologi (Casal-Otero *et al.*, 2023; Kong *et al.*, 2023, 2024; Laupichler *et al.*, 2022; Wang & Lester, 2023). Di samping itu, penguasaan fondasi algoritma dan logika pemrograman memerlukan penyajian materi yang sistematis dan bertahap agar abstraksi sintaksis dan alur eksekusi logika dapat dipahami secara intuitif oleh siswa (Abdillah *et al.*, 2026; Yan *et al.*, 2024; Yilmaz & Karaoglan Yilmaz, 2023). Meskipun mata pelajaran KKA menuntut keterlibatan interaktif dan pemahaman teknis yang dinamis, kondisi empiris di SMA Negeri 1 Palembang berdasarkan hasil observasi awal dan wawancara dengan guru pengampu menunjukkan keterbatasan sarana penunjang pembelajaran. Sumber belajar utama yang saat ini digunakan di kelas masih bertumpu pada dokumen digital pasif berupa berkas PDF. Format dokumen statis ini mampu menyediakan ringkasan konsep teoritis, namun memiliki keterbatasan mendasar karena belum memfasilitasi sistem navigasi antarmateri yang fleksibel, minim penyajian media visual interaktif, belum menyediakan sarana latihan formatif per bab dengan evaluasi umpan balik seketika, serta belum terintegrasi ke dalam portal daring yang dapat diakses secara fleksibel melalui berbagai peramban web. Kesenjangan antara sifat materi KKA yang dinamis dan ketersediaan bahan ajar yang masih bersifat satu arah menyebabkan proses belajar menjadi kurang optimal serta menuntut pendidik melakukan pendampingan teknis secara berulang.

Dalam merespons permasalahan tersebut, pengembangan modul ajar elektronik (e-modul) interaktif berbasis web menawarkan alternatif media pembelajaran yang mampu menyatukan perumusan tujuan kompetensi, materi multimedia, contoh studi kasus, latihan terbimbing, dan uji pemahaman mandiri ke dalam alur belajar yang runtut. Sejumlah penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa media pembelajaran berbasis modul digital yang dikembangkan secara terstruktur mampu meningkatkan daya tarik penyampaian materi, memfasilitasi keterampilan berpikir kritis, serta mendorong keterlibatan belajar siswa pada topik-topik keteknikan dan ilmu komputer (Fathurroziq & Astutik, 2024; Pitorini *et al.*, 2024; Sandi *et al.*, 2023; Sofirudin *et al.*, 2022; Yahya *et al.*, 2024). Lebih lanjut, pengemasan antarmuka web yang memadukan kenyamanan navigasi digital *flipbook* dengan arsitektur antarmuka yang responsif (*user interface and user experience*) memegang peranan penting dalam menjaga retensi atensi siswa selama proses interaksi belajar daring (Aung *et al.*, 2022; Fikriliani *et al.*, 2025; Putri *et al.*, 2025). Akan tetapi, terlepas dari meluasnya penelitian e-modul di berbagai bidang studi, penelitian yang secara spesifik merancang dan mengembangkan modul ajar digital komprehensif untuk kurikulum KKA kelas X yang memadukan enam cakupan materi utama—meliputi berpikir komputasional, algoritma lanjut, etika AI, *prompt engineering*, etika media sosial, dan tata kelola informasi—dalam satu ekosistem situs web responsif berbasis *flipbook* dan evaluasi interaktif masih sangat terbatas. Sebagian besar materi yang beredar masih berfokus pada teori pengantar umum atau

latihan pemrograman parsial tanpa kerangka kurikulum yang utuh. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan mengembangkan modul ajar digital berbasis web untuk menunjang pembelajaran KKA kelas X di SMA Negeri 1 Palembang, mendeskripsikan penerapan alur pengembangan menggunakan model 4D (Define, Design, Develop, dan Disseminate), serta menguji tingkat kelayakan media tersebut secara komprehensif melalui validasi para pakar yang mencakup aspek materi, desain media, dan kebahasaan. Penelitian ini difokuskan pada pengujian kelayakan dan kualitas rancang bangun produk menurut para ahli, sedangkan pengukuran efektivitas instruksional dan uji kebergunaan langsung di ruang kelas belum dapat disimpulkan dalam penelitian ini karena ketiadaan data respons siswa sasaran yang memenuhi kaidah validitas pengukuran.

2. Metodologi

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) dengan menerapkan model 4D yang dikembangkan oleh Thiagarajan, yang meliputi empat tahapan utama: *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Model 4D dipilih karena menyediakan alur perancangan yang sistematis, teruji, dan bertahap, mulai dari analisis kebutuhan dasar hingga penyebaran produk akhir. Pendekatan ini telah terbukti efektif dalam memandu pengembangan berbagai media pembelajaran digital dan e-modul interaktif di lingkungan sekolah menengah (Salsabila *et al.*, 2023; Sofirudin *et al.*, 2022). Alur tahapan pengembangan modul ajar digital dalam penelitian ini diilustrasikan pada Gambar 1, sedangkan rincian aktivitas utama dan luaran pada setiap tahap disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1 Desain Penelitian dan Pengembangan Modul Menggunakan Model 4D
Catatan. Sumber: Hasil perancangan penulis.

Tabel 1. Tahapan dan Keluaran Pengembangan Modul Ajar Digital KKA

Tahap	Aktivitas Utama	Keluaran
Define	Observasi lapangan, wawancara guru pengampu, analisis bahan ajar awal, serta pemetaan kebutuhan kurikulum KKA kelas X	Dokumen spesifikasi kebutuhan produk dan profil kompetensi dasar
Design	Penyusunan draf materi enam bab, perancangan struktur navigasi, diagram <i>use case</i> , pemodelan basis data (<i>Entity Relationship Diagram</i>), pembuatan <i>wireframe</i> , dan prototipe interaktif antarmuka di Figma	Prototipe antarmuka sistem dan cetak biru (<i>blueprint</i>) struktur konten
Develop	Implementasi kode antarmuka web responsif (HTML, CSS, JavaScript), pengintegrasian modul digital <i>flipbook</i> , penyusunan bank soal latihan, serta pelaksanaan uji validasi ahli	Berkas aplikasi situs web responsif fungsional dan lembar data hasil validasi pakar
Disseminate	Pengunggahan produk ke layanan <i>web hosting</i> , penyediaan tautan domain publik, serta penyerahan akses operasional kepada pihak sekolah mitra	Modul ajar daring siap pakai yang dapat diakses melalui berbagai peramban web

Catatan. Sumber: Hasil penelitian.

2.2 Pengumpulan dan Analisis Data

Pengumpulan data primer dilakukan melalui observasi langsung di kelas serta wawancara terstruktur dengan guru mata pelajaran guna mengidentifikasi ketersediaan bahan ajar, kendala teknis proses pembelajaran, serta ekspektasi pengguna terhadap inovasi media digital. Data sekunder dihimpun melalui dokumentasi kurikulum sekolah dan studi literatur yang mencakup kerangka kerja e-modul, literasi kecerdasan artifisial, sistem pembelajaran berbasis web, serta praktik terbaik rekayasa media digital. Tingkat kelayakan modul ajar dinilai menggunakan angket evaluasi berskala Likert lima tingkat (rentang skor 1 hingga 5) yang disebarkan kepada panel ahli materi, ahli media, dan ahli bahasa. Panel validator dipilih menggunakan teknik penarikan sampel bertujuan (*purposive sampling*) yang melibatkan dosen dan guru praktisi berpengalaman. Ahli materi memiliki kualifikasi keilmuan pada bidang koding, informatika, pemrograman, atau desain instruksional; ahli media memiliki keahlian dalam media pembelajaran, teknologi informasi, *user interface/user experience* (UI/UX), atau rekayasa web; sedangkan ahli bahasa berlatar belakang pendidikan dan linguistik Bahasa Indonesia serta komunikasi instruksional. Penelitian ini tidak menetapkan batas minimum tahun masa kerja karena data riwayat pengalaman kerja secara detail tidak dihimpun. Analisis akhir kelayakan mengikutsertakan 11 penilaian ahli materi, 10 penilaian ahli media, dan 8 penilaian ahli bahasa. Satu lembar instrumen penilaian media yang berasal dari pengembang produk dieksklusikan dari analisis data untuk mencegah potensi bias penilaian diri (*self-assessment bias*). Instrumen validasi disusun berdasarkan pemetaan indikator terhadap tujuan pengembangan modul. Kisi-kisi instrumen materi mencakup sembilan indikator evaluasi, yaitu kesesuaian dengan tujuan pembelajaran dan kurikulum, ketepatan konsep teoritis, sistematika penyajian isi, relevansi contoh terapan, bobot latihan formatif, stimulasi berpikir komputasional, latihan pemecahan masalah, penumbuhan kreativitas, serta cakupan etika teknologi. Instrumen media terdiri atas sepuluh indikator, meliputi estetika antarmuka, keserasian palet warna, keterbacaan tipografi, kejelasan gambar dan ilustrasi, relevansi animasi konsep, kualitas teknis video, kejelasan audio, konsistensi tata letak antarhalaman, kemudahan sistem navigasi, serta aksesibilitas dan kompatibilitas peramban. Sementara itu, instrumen bahasa merangkum delapan indikator, yakni kepatuhan terhadap kaidah tata bahasa Indonesia, keterbacaan kalimat, ketepatan penggunaan istilah teknis, kesesuaian dengan tingkat kematangan kognitif siswa jenjang SMA, ketepatan ejaan dan tanda baca, ketiadaan multitafsir kalimat, komunikativitas gaya bahasa, serta kejelasan kalimat petunjuk latihan. Tingkat persentase kelayakan modul ajar pada setiap aspek dihitung menggunakan formula perbandingan skor perolehan aktual terhadap skor maksimal ideal, sebagaimana ditunjukkan pada Persamaan (1):

$$P = \frac{\sum x}{\sum x_{\max}} \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan: P = persentase kelayakan modul (%)

$\sum X$ = total skor aktual yang diperoleh dari akumulasi penilaian seluruh validator;

$\sum X_{max}$ = total skor maksimum ideal (hasil perkalian antara jumlah validator, jumlah butir indikator, dan nilai skala tertinggi yakni 5).

Persentase kelayakan yang diperoleh kemudian diinterpretasikan ke dalam kriteria kelayakan standar: 81%–100% (sangat layak), 61%–80% (layak), 41%–60% (cukup layak), 21%–40% (kurang layak), dan 0%–20% (sangat tidak layak). Pada penelitian ini belum dilakukan pengujian validitas konstruk dan reliabilitas statistik internal (seperti uji Alpha Cronbach) terhadap instrumen angket ahli, karena instrumen tersebut dirancang dan difungsikan sebagai rubrik penilaian evaluasi formatif kualitatif-kuantitatif oleh panel pakar dengan komposisi bidang yang heterogen. Kesahihan instrumen ditetapkan melalui validitas isi (*content validity*) dengan memetakan setiap butir indikator secara rasional terhadap spesifikasi teknis dan capaian kurikulum KKA. Ketiadaan uji reliabilitas statistik ini diakui sebagai keterbatasan metodologis yang perlu disempurnakan melalui uji coba instrumen terstandardisasi pada studi lanjutan. Selain itu, instrumen respons siswa yang sempat diedarkan tidak disertakan dalam analisis data karena identitas responden tidak dapat dipastikan seluruhnya berasal dari siswa kelas X sasaran, serta pola distribusi jawaban menunjukkan anomali data yang berisiko mengurangi validitas inferensi penelitian.

3. Hasil

3.1 Hasil Pengembangan Produk

Pengembangan ini menghasilkan modul ajar digital interaktif berbasis web untuk pembelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial (KKA) bagi siswa kelas X di SMA Negeri 1 Palembang. Antarmuka beranda modul memuat komponen identitas mata pelajaran, menu navigasi utama, tombol papan peringkat (*leaderboard*), keterangan tingkatan kelas, tautan dokumen buku lengkap, serta menu akses langsung menuju enam modul bab pembelajaran. Desain antarmuka dirancang secara responsif sehingga tata letak dan fungsionalitas modul dapat beradaptasi secara dinamis saat diakses melalui peramban komputer desktop, laptop, maupun perangkat bergerak (*smartphone*). Alur logika perancangan sistem dan urutan penggunaan modul ajar oleh pengguna diilustrasikan pada Gambar 2.



Gambar 2 Diagram Alir Hasil Pengembangan dan Penggunaan Modul Ajar Digital KKA
Catatan. Sumber: Hasil perancangan dan implementasi penulis.

Materi instruksional di dalam modul terbagi ke dalam enam bab tematik yang disusun secara bertahap, meliputi: 1) Berpikir Komputasional, 2) Algoritma dan Pemrograman Lanjut, 3) Literasi dan Etika Kecerdasan Artifisial, 4) *Prompt Engineering* dan *Design Thinking*, 5) Kreativitas dan Etika Konten Media Sosial, serta 6) Pengelolaan Informasi. Setiap bab mengintegrasikan teks pengantar, visualisasi grafis materi, modul bacaan digital dalam format *flipbook*, tombol navigasi antarmateri, serta instrumen evaluasi mandiri berupa dua puluh butir soal latihan formatif yang dilengkapi dengan mekanisme umpan balik otomatis. Ilustrasi contoh antarmuka bab pembelajaran pada modul *flipbook* digital disajikan pada Gambar 3, sedangkan rincian ruang lingkup materi dan fitur interaktif pada setiap bab dirangkum pada Tabel 2.



Gambar 3. Contoh Tampilan Bab Pembelajaran pada Modul Flipbook Digital

Catatan. Sumber: Dokumentasi penelitian.

Tabel 2. Cakupan Materi Pembelajaran dan Fitur Utama Modul Digital KKA

Bab	Topik Materi	Fitur Utama Pembelajaran
1	Berpikir komputasional	Infografis konsep dekomposisi dan pola, pembaca <i>flipbook</i> , serta tes formatif
2	Algoritma dan pemrograman lanjut	Visualisasi diagram alir (<i>flowchart</i>), penelusuran struktur kontrol, dan panduan <i>debugging</i>
3	Literasi dan etika kecerdasan artifisial	Studi kasus konsep dasar AI, materi mitigasi bias algoritma, privasi data, dan etika teknologi
4	<i>Prompt engineering</i> dan <i>design thinking</i>	Panduan teknik perancangan instruksi <i>prompt</i> AI dan tahapan perumusan ide solusi berpusat pada pengguna
5	Kreativitas dan etika konten media sosial	Pedoman produksi konten multimedia kreatif, hak cipta digital, dan etika komunikasi daring
6	Pengelolaan informasi	Strategi penelusuran informasi digital, metode verifikasi fakta, serta penyajian laporan data

Catatan. Sumber: Hasil penelitian.

3.2 Hasil Validasi Ahli

Pengujian kelayakan modul ajar digital dilakukan melalui validasi oleh panel ahli yang mencakup aspek materi, desain media, dan kebahasaan. Hasil rekapitulasi evaluasi para pakar menunjukkan bahwa seluruh aspek yang diuji memperoleh kategori "sangat layak". Validasi materi oleh 11 ahli menghasilkan skor aktual sebesar 486 dari skor maksimum ideal 495, atau mencapai persentase kelayakan sebesar 98,18%. Validasi media oleh 10 ahli menghasilkan skor total 465 dari skor maksimum ideal 500, dengan tingkat kelayakan 93,00%. Pada aspek media, setiap butir indikator memiliki batas skor maksimal 50 (akumulasi dari 10 validator dengan skor skala tertinggi 5). Akumulasi perolehan skor dari sepuluh indikator media tersebut meliputi: 48 (desain), 48 (warna), 47 (tipografi), serta masing-masing skor 46 untuk tujuh indikator lainnya (ilustrasi, animasi, video, audio, konsistensi tampilan, navigasi, dan aksesibilitas). Sementara itu, validasi kebahasaan oleh 8 ahli memperoleh nilai sempurna sebesar 320 dari skor maksimum 320, atau tingkat kelayakan 100,00%. Ringkasan perolehan skor dan persentase kelayakan pada ketiga aspek validasi disajikan pada Tabel 3, sedangkan distribusi rincian capaian skor pada setiap indikator aspek media dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 3. Ringkasan Hasil Uji Validasi Kelayakan oleh Panel Ahli

Aspek Evaluasi	Total Skor Aktual	Skor Maksimum Ideal	Persentase Kelayakan	Kategori Kelayakan
Materi	486	495	98,18%	Sangat layak
Media	465	500	93,00%	Sangat layak
Bahasa	320	320	100,00%	Sangat layak

Catatan. Kriteria: 81%–100% = sangat layak; 61%–80% = layak. Sumber: Data penelitian yang diolah.

Tabel 4 Rincian Hasil Penilaian Validasi Aspek Media oleh Panel Pakar

Butir Indikator Penilaian	Skor Aktual / Maksimum	Persentase Capaian	Kategori Kelayakan
Desain tampilan antarmuka media menarik	48 / 50	96,00%	Sangat layak
Pemilihan komposisi warna serasi dan nyaman	48 / 50	96,00%	Sangat layak
Tipografi teks jelas dan mudah dibaca	47 / 50	94,00%	Sangat layak
Kejelasan gambar dan ilustrasi mendukung konsep	46 / 50	92,00%	Sangat layak
Animasi interaktif membantu pemahaman materi	46 / 50	92,00%	Sangat layak
Video instruksional memiliki kualitas resolusi baik	46 / 50	92,00%	Sangat layak
Rekaman audio narasi terdengar jernih	46 / 50	92,00%	Sangat layak
Konsistensi tata letak antarmuka setiap halaman	46 / 50	92,00%	Sangat layak
Struktur menu navigasi responsif dan mudah diakses	46 / 50	92,00%	Sangat layak
Kompatibilitas media stabil di berbagai peramban	46 / 50	92,00%	Sangat layak
Total Akumulasi Aspek Media	465 / 500	93,00%	Sangat layak

Catatan. Jumlah validator (\$n\$) = 10 orang; batas skor maksimal per butir = 50. Sumber: Data penelitian yang diolah.

4. Pembahasan

Keberhasilan perancangan modul ajar digital dalam penelitian ini menegaskan efektivitas penerapan model 4D (Define, Design, Develop, Disseminate) dalam menjembatani temuan masalah empiris di kelas menuju perwujudan produk instruksional yang siap pakai. Pada tahap *Define*, identifikasi terhadap ketergantungan guru pada dokumen PDF statis, ketiadaan simulasi interaktif, dan beban evaluasi manual berhasil dipetakan sebagai fokus intervensi utama. Kebutuhan tersebut diterjemahkan secara sistematis pada tahap *Design* melalui perancangan arsitektur antarmuka, diagram relasi data, struktur kurikulum enam bab, serta prototipe di Figma. Tahap *Develop* kemudian mengonkretkan cetak biru tersebut ke dalam platform situs web responsif berbasis HTML, CSS, dan JavaScript yang terintegrasi dengan modul *flipbook* digital serta bank soal latihan interaktif. Akhirnya, tahap *Disseminate* memungkinkan modul tersebut dipublikasikan secara daring melalui server *hosting* sehingga materi pembelajaran dapat diakses oleh peserta didik secara mandiri dan lintas peramban tanpa terikat sekat ruang kelas fisik.

Tingkat kelayakan materi yang mencapai 98,18% membuktikan bahwa konten instruksional yang dirancang telah selaras dengan capaian pembelajaran kurikulum KKA, kedalaman konsep keilmuan, penalaran berpikir komputasional, serta urgensi etika teknologi bagi siswa jenjang sekolah menengah. Struktur materi yang tersusun secara bertahap memudahkan siswa dalam mencerna logika algoritma yang bersifat abstrak menjadi konsep terapan yang konkret, sejalan dengan temuan sejumlah studi terdahulu yang menekankan pentingnya pengorganisasian materi yang terstruktur dalam format e-modul interaktif (Amini & Usmeldi, 2022; Pitorini *et al.*, 2024; Sandi *et al.*, 2023; Sofirudin *et al.*, 2022; Yahya *et al.*, 2024).

Di samping itu, tingkat kelayakan media sebesar 93,00% menunjukkan bahwa tata visual, komposisi palet warna, tipografi, dan kemudahan antarmuka pengguna (*user interface*) dinilai sangat fungsional oleh para pakar. Kendati demikian, skor 92,00% pada aspek ilustrasi gambar, multimedia animasi, audio-video, serta aksesibilitas peramban mengindikasikan adanya ruang optimasi teknis, khususnya terkait efisiensi kompresi muatan aset digital dan standarisasi tata letak responsif pada resolusi layar ponsel yang beragam. Sementara itu, capaian validasi bahasa sebesar 100,00% mengonfirmasi bahwa keterbacaan kalimat, kebakuan ejaan, ketepatan peristilahan komputasi, serta komunikativitas instruksi latihan telah memenuhi kaidah tata bahasa Indonesia yang tepat bagi perkembangan kognitif siswa kelas X. Namun, persentase sempurna tersebut harus dipahami secara proporsional dalam konteks instrumen rubrik penilaian formatif yang melibatkan delapan penilai, sehingga keterlibatan pakar linguistik eksternal yang lebih luas tetap dianjurkan pada pengujian berskala lanjutan.

Secara pedagogis, integrasi materi multimedia, buku virtual *flipbook*, dan kuis latihan mandiri dengan umpan balik langsung memberikan pengalaman belajar yang jauh lebih dinamis dan fleksibel jika dibandingkan dengan bahan ajar PDF pasif yang selama ini digunakan di SMA Negeri 1 Palembang. Pengemasan lingkungan belajar digital semacam ini konsisten dengan berbagai kajian yang membuktikan bahwa keterlibatan kognitif dan motivasi belajar peserta didik meningkat secara signifikan saat berinteraksi dengan platform pembelajaran digital yang adaptif (Alyusfitri *et al.*, 2024; Amini & Usmeldi, 2022; Aung *et al.*, 2022; Pitorini *et al.*, 2024). Dalam ruang lingkup kurikulum KKA, pemuatan materi etika AI, mitigasi bias algoritma, tata kelola data pribadi, serta teknik perancangan perintah cerdas (*prompt engineering*) menjadi komponen esensial yang tidak terpisahkan dari penguasaan teknis pemrograman. Menanamkan literasi AI sejak dini membantu siswa tidak sekadar menjadi konsumen teknologi yang pasif, melainkan pengguna yang berpikiran kritis, bertanggung jawab secara etis, dan mampu mengevaluasi keluaran sistem cerdas secara bijak (Casal-Otero *et al.*, 2023; Cooper, 2023; Kong *et al.*, 2023, 2024; Lastri, 2023; Laupichler *et al.*, 2022; Sanusi *et al.*, 2023; Wang & Lester, 2023; Yan *et al.*, 2024; Yilmaz & Karaoglan Yilmaz, 2023).

Di balik hasil validasi yang memuaskan tersebut, penelitian ini memiliki keterbatasan metodologis yang mendasar. Data respons peserta didik tidak diikutsertakan dalam analisis hasil karena keterbatasan verifikasi identitas responden di lapangan serta terdeteksinya anomali pola respons yang berisiko menimbulkan galat sistematis. Ketiadaan data persepsi dan hasil belajar siswa yang sah menyebabkan penelitian ini belum dapat menarik inferensi ilmiah mengenai efektivitas pedagogis, daya retensi materi, maupun tingkat penerimaan pengguna (*usability*) secara riil di dalam ruang kelas. Oleh sebab itu, ruang lingkup simpulan penelitian ini dibatasi secara ketat pada keberhasilan perancangan teknis dan pengujian kelayakan media menurut pertimbangan panel pakar. Uji efektivitas instruksional melalui desain eksperimen semu (*quasi-experiment*) dengan tes awal dan tes akhir (*pre-test* dan *post-test*), pengujian *usability* menggunakan metrik baku seperti *System Usability Scale* (SUS), serta evaluasi stabilitas lintas sistem operasi menjadi agenda riset lanjutan yang esensial.

5. Kesimpulan

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan modul ajar digital berbasis *website* yang responsif untuk menunjang pembelajaran mata pelajaran Koding dan Kecerdasan Artifisial (KKA) bagi siswa kelas X di SMA Negeri 1 Palembang. Penerapan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*) terbukti efektif dalam memandu transformasi bahan ajar cetak/PDF pasif menjadi lingkungan belajar digital interaktif. Modul ajar yang dikembangkan memuat enam bab materi terpadu—meliputi berpikir komputasional, algoritma dan pemrograman lanjut, literasi dan etika AI, *prompt engineering*, etika media sosial, serta pengelolaan informasi—yang dilengkapi dengan visualisasi konsep, modul bacaan *flipbook*, sistem navigasi adaptif, dan evaluasi mandiri berupa dua puluh butir soal latihan formatif dengan umpan balik langsung pada setiap babnya. Berdasarkan hasil uji validasi para pakar, produk modul ajar digital ini memperoleh predikat "sangat layak" pada seluruh aspek evaluasi, dengan persentase kelayakan sebesar 98,18% untuk aspek materi, 93,00% untuk aspek media, dan 100,00% untuk aspek kebahasaan. Dengan demikian, modul ini dinilai memenuhi kriteria kelayakan akademis dan teknis untuk digunakan sebagai media pendukung pembelajaran KKA di sekolah. Kendati demikian, tingkat efektivitas instruksional terhadap peningkatan hasil belajar serta tingkat kebergunaan (*usability*) modul secara riil di

kelas belum dapat disimpulkan dalam penelitian ini akibat keterbatasan validitas data respons siswa di lapangan. Penelitian lanjutan disarankan untuk melakukan uji coba empiris langsung kepada siswa sasaran melalui rancangan eksperimen yang terukur, menerapkan instrumen evaluasi *usability* yang terstandarisasi, menguji kompatibilitas performa lintas sistem operasi, serta terus menyempurnakan aspek aksesibilitas dan aset multimedia pendukung.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan terima kasih kepada SMA Negeri 1 Palembang serta para ahli materi, media, dan bahasa yang telah mendukung proses pengembangan dan penilaian produk.

Referensi

- Abdillah, L. A. (2017). Enriching information technology course materials by using YouTube. *The 5th International Conference on Artificial Intelligence, Computer Science and Information Technology (AICSIT2017)*, 75–82.
- Abdillah, L. A., Aprilia, F., Neisya, & Hurriyati, D. (2023). Pelatihan pembuatan materi video pembelajaran menggunakan PowerPoint 365 di SD Negeri 75 Palembang. *Community Development Journal: Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 4(2), 2144–2149.
- Abdillah, L. A., Azdy, R. A., Ernawati, Y., & Mukti, A. R. (2024). Pengembangan media pembelajaran berbasis augmented reality dan metaverse untuk meningkatkan kinerja guru SMA/SMK/SLB di Provinsi Sumatera Selatan. *Jurnal Hilirisasi IPTEKS*, 7(2), 160–169.
- Abdillah, L. A., Sopandi, A., Herdiana, Y., & Admira, T. M. A. (2024). Teknologi digital AI sebagai alat bantu pembelajaran jenjang SD. *Jurnal Pengabdian Bina Dharma*, 4(2), 230–239. <https://doi.org/10.31855/jpbd.v4i2.4183>
- Abdillah, L. A., Talakua, P., Maipauw, M. M., Wachidah, N. C., Nukman, N., Natasari, P. S., Nasution, M. B. K., & Sidik, D. P. (2026). *Algoritma dan pemrograman: Teori dan praktik modern*. CV. Ihsan Cahaya Pustaka.
- Alfarabi, M. A., & Abdillah, L. A. (2024). Design and construction of knowledge management system for teachers' teaching materials at SMA 22 Palembang. *International Journal Software Engineering and Computer Science*, 4(3), 1089–1098. <https://doi.org/10.35870/ijsecs.v4i3.3245>
- Alyusfitri, R., Gistituati, N., Yerizon, Y., Fauzan, A., & Yarman, Y. (2024). The effectiveness and relationship of student responses toward learning outcomes using interactive multimedia-based e-modules in elementary school. *International Electronic Journal of Elementary Education*, 16(4), 517–528. <https://doi.org/10.26822/iejee.2024.354>
- Amini, R., & Usmeldi. (2022). Developing the interactive e-module based on integrated learning for primary school students. *International Journal of Information and Education Technology*, 12(4), 272–279. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2022.12.4.1615>
- Aung, Z. H., Tan, S. C., & Thanyaphongphat, J. (2022). Designing a novel teaching platform for AI: A case study in a Thai school context. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(6), 1714–1729. <https://doi.org/10.1111/jcal.12706>

- Casal-Otero, L., Biekac, A., Castro-Castro, C., & Cebreiro, B. (2023). AI literacy in K-12: A systematic literature review. *International Journal of STEM Education*, 10, Article 29. <https://doi.org/10.1186/s40594-023-00418-7>
- Cooper, G. (2023). Examining science education in ChatGPT: An exploratory study of generative artificial intelligence. *Journal of Science Education and Technology*, 32(3), 444–452. <https://doi.org/10.1007/s10956-023-10039-y>
- Fathurroziq, M. Z., & Astutik, A. P. (2024). Flipbook-based e-module for Thaharah learning. *Indonesian Journal of Education Methods Development*, 19(4), Article 848. <https://doi.org/10.21070/ijemd.v19i4.848>
- Fikriliani, C., Panjaitan, F., Abdillah, L. A., & Putra, M. S. (2025). Perancangan UI/UX pada website inventaris barang menggunakan metode design thinking. *MALCOM: Indonesian Journal of Machine Learning and Computer Science*, 5(1), 463–472. <https://doi.org/10.57152/malcom.v5i1.1850>
- Kong, S. C., Cheung, W. M. Y., & Tsang, O. (2023). Evaluating an artificial intelligence literacy programme for senior secondary students. *Education and Information Technologies*, 28(4), 4703–4724. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11375-3>
- Kong, S. C., Cheung, M. Y. W., & Tsang, O. (2024). Developing an artificial intelligence literacy framework. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, Article 100214. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100214>
- Lastri, Y. (2023). Pengembangan dan pemanfaatan bahan ajar e-modul dalam proses pembelajaran. *Jurnal Citra Pendidikan*, 3(3), 1139–1146. <https://doi.org/10.38048/jcp.v3i3.1914>
- Laupichler, M. C., Aster, A., Schirch, J., & Raupach, T. (2022). Artificial intelligence literacy in higher and adult education: A scoping literature review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, Article 100101. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100101>
- Pitorini, D. E., Suciati, & Harlita. (2024). Students' critical thinking skills using an e-module based on problem-based learning combined with Socratic dialogue. *Journal of Learning for Development*, 11(1), 118–134. <https://doi.org/10.56059/jl4d.v11i1.1014>
- Putri, B., Sutabri, T., Herdiansyah, M. I., & Abdillah, L. A. (2025). Penerapan metode UCD (User Centered Design) dalam perancangan design UI/UX website SMK. *Journal of Information System Research (JOSH)*, 6(2), 1017–1026. <https://doi.org/10.47065/josh.v6i2.5931>
- Salsabila, A. H., Iriani, T., & Handoyo, S. S. (2023). Penerapan model 4D dalam pengembangan video pembelajaran pada keterampilan mengelola kelas. *Jurnal Pendidikan West Science*, 1(8), 495–505. <https://doi.org/10.58812/jpdws.v1i08.553>
- Sandi, H. A. A., Hamid, A., & Bakti, I. (2023). Pengembangan e-modul berbasis mikroskopis untuk melatih keterampilan berpikir kreatif peserta didik. *JCAE (Journal of Chemistry And Education)*, 6(2), 87–97. <https://doi.org/10.20527/jcae.v6i2.1711>
- Sanusi, I. T., Olaleye, S. A., Agbo, F. J., & Chiu, T. K. F. (2023). Developing middle school students' understanding of machine learning in an African school. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 5, Article 100155. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100155>
- Sofirudin, V. D., Herlambang, A. D., & Wijoyo, S. H. (2022). E-module development using the Four-D model in computer systems subjects for 10th grade. *Journal of Information Technology and Computer Science*, 7(1), 45–54.

- Wang, N., & Lester, J. (2023). K-12 education in the age of AI: A call to action for K-12 AI literacy. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33(2), 228–232. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00350-0>
- Yahya, M. H., Rokhmawati, R. I., & Amalia, F. (2024). Pengembangan modul pembelajaran interaktif untuk mata pelajaran Informatika berbasis media digital dengan model ADDIE. *Jurnal Sistem Informasi, Teknologi Informasi, dan Edukasi Sistem Informasi*, 5(2), 114–122.
- Yan, W., Zhang, L., Xu, W., & Zhou, J. (2024). Scaffolding computational thinking with ChatGPT. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 17, 1571–1584. <https://doi.org/10.1109/TLT.2024.3392896>
- Yilmaz, R., & Karaoglan Yilmaz, F. G. (2023). The effect of generative AI-based tool use on students' computational thinking skills, programming self-efficacy and motivation. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4, Article 100147. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100147>