

PENGEMBANGAN *SMART TUTORING SYSTEM* (STS) BERBASIS KECERDASAN BUATAN DENGAN *PERSONALIZED LEARNING PATH* UNTUK MENINGKATKAN KEMANDIRIAN BELAJAR SISWA SMA

¹Rafika Sari Br Sembiring, ¹Oktaviana Bangun✉, ²Mustaqim Sidebang,
¹Darwin Siallagan

¹Universitas Mandiri Bina Prestasi, Medan, Indonesia

²Universitas Nahdlatul Ulama Sumatera Utara, Medan, Indonesia

Email: oktavianabangun170@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.46880/jmika.Vol10No1.pp412-429>

ABSTRACT

This study aims to develop a Smart Tutoring System (STS) based on Natural Language Processing (NLP) and Collaborative Filtering algorithms and to evaluate its effectiveness in enhancing the learning autonomy of students at SMA RK Deli Murni Deli Tua. The novelty of this research lies in the integration of a rule-based expert system for content personalization with a recommendation system that dynamically adjusts learning paths based on students' cognitive profiles and interaction patterns. The research employs a Research and Development (R&D) method using the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). The product developed is a web-based learning platform named "AI-Learn" equipped with three main features: (1) adaptive content personalization using decision tree algorithms to map student competency levels, (2) intelligent tutoring system (chatbot) powered by NLP for interactive question-answering, and (3) real-time feedback and progress tracking through an interactive dashboard. The product was validated by media and material experts and subsequently tested on a sample of 30 students using a one-group pretest-posttest design. Data were collected using learning autonomy questionnaires and performance tests, then analyzed using descriptive statistics, N-Gain, and paired sample t-tests. The results indicate that the developed AI-based system is highly feasible, with validation scores of 87.5% from media experts and 90.25% from material experts. Furthermore, the implementation significantly increased student learning autonomy, with an average N-Gain score of 0.75 (high category) and a t-test showing a significant difference ($p < 0.05$) between pre-test and post-test scores. This research contributes to the field of educational technology by providing a validated AI-based learning system model that integrates personalized learning pathways with intelligent tutoring, serving as an innovative alternative to support student-centered learning in the digital era.

Keyword: Smart Tutoring System, Natural Language Processing, Collaborative Filtering, Learning Autonomy, ADDIE Model, Personalized Learning.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Smart Tutoring System (STS) berbasis algoritma Natural Language Processing (NLP) dan Collaborative Filtering serta mengevaluasi efektivitasnya dalam meningkatkan kemandirian belajar siswa di SMA RK Deli Murni Deli Tua. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sistem pakar berbasis aturan (rule-based expert system) untuk personalisasi konten dengan sistem rekomendasi yang secara dinamis menyesuaikan jalur belajar berdasarkan profil kognitif dan pola interaksi siswa. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation). Produk yang dikembangkan berupa platform pembelajaran berbasis web bernama "AI-Learn" yang dilengkapi dengan tiga fitur utama: (1) personalisasi konten adaptif menggunakan algoritma decision tree untuk memetakan tingkat kompetensi siswa, (2) sistem tutor cerdas (chatbot) berbasis NLP untuk tanya-jawab interaktif, dan (3) umpan balik real-time serta pelacakan kemajuan melalui dashboard interaktif. Produk divalidasi oleh ahli media dan ahli materi, kemudian diujicobakan kepada 30 siswa dengan desain one-group pretest-posttest. Data dikumpulkan menggunakan angket kemandirian belajar dan tes hasil belajar, lalu dianalisis menggunakan statistik deskriptif, N-Gain, dan uji-t sampel berpasangan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem berbasis AI yang dikembangkan sangat layak digunakan, dengan skor validasi ahli media sebesar 87,5% dan ahli materi sebesar 90,25%. Selain itu, implementasi sistem secara signifikan meningkatkan kemandirian belajar siswa, dengan rata-rata skor N-Gain sebesar 0,75 (kategori tinggi) dan uji-t



menunjukkan perbedaan signifikan ($p < 0,05$) antara nilai *pre-test* dan *post-test*. Penelitian ini berkontribusi pada bidang teknologi pendidikan dengan menyediakan model sistem pembelajaran berbasis AI yang telah tervalidasi, mengintegrasikan jalur pembelajaran personal dengan tutor cerdas, serta menjadi alternatif inovatif untuk mendukung pembelajaran yang berpusat pada siswa di era digital.

Kata Kunci: *Smart Tutoring System, Natural Language Processing, Collaborative Filtering, Kemandirian Belajar, Model ADDIE, Pembelajaran Personal.*

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah membawa perubahan fundamental dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dunia pendidikan. Kecerdasan Buatan (AI) kini menjadi salah satu inovasi yang mulai diintegrasikan dalam sistem pembelajaran untuk menciptakan pengalaman belajar yang lebih adaptif dan personal. Dalam konteks Kurikulum Merdeka yang saat ini diterapkan di Indonesia, kemandirian belajar siswa menjadi salah satu capaian utama yang ingin dikembangkan. Kurikulum ini mendorong siswa untuk menjadi pembelajar mandiri melalui penerapan pembelajaran kontekstual dan proyek autentik. Namun, implementasi kurikulum tersebut masih menghadapi berbagai hambatan, termasuk keterbatasan perangkat digital dan kesiapan pedagogis guru yang belum merata. Berdasarkan hasil observasi awal di SMA RK Deli Murni Deli Tua, ditemukan permasalahan bahwa tingkat kemandirian belajar siswa masih tergolong rendah. Hal ini tercermin dari ketergantungan siswa terhadap peran guru dalam proses pembelajaran serta rendahnya inisiatif siswa untuk belajar secara mandiri. Hasil penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kemandirian belajar dengan penyesuaian akademik siswa, di mana semakin tinggi kemandirian belajar, semakin baik pula capaian akademik yang ditunjukkan. Penelitian lain juga mengungkapkan bahwa kemandirian belajar berpengaruh positif terhadap hasil belajar siswa, dan literasi digital memperkuat hubungan tersebut. Dengan demikian, pengembangan kemandirian belajar menjadi faktor krusial dalam meningkatkan kualitas pembelajaran. Salah satu pendekatan yang dapat ditempuh untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah dengan mengembangkan sistem pembelajaran digital berbasis AI. Teknologi AI dalam pendidikan telah terbukti mampu mendukung pembelajaran mandiri melalui berbagai fitur seperti sistem adaptif, tutor cerdas, umpan balik real-time, dan rekomendasi pembelajaran yang dipersonalisasi. Penelitian menunjukkan bahwa AI dapat berfungsi sebagai *cognitive partner* atau mitra berpikir yang memungkinkan siswa berdialog dengan pengetahuannya sendiri, sehingga meningkatkan pemahaman konsep, kemampuan reflektif, dan motivasi belajar mandiri. Lebih lanjut, penggunaan AI

sebagai asisten edukasi memberikan akses informasi secara cepat, interaktif, dan fleksibel, yang memungkinkan siswa mengatur waktu dan cara belajar sesuai dengan kebutuhan masing-masing. Studi sistematis terkait dampak AI terhadap pembelajaran personal menunjukkan bahwa sistem AI memberikan dampak positif pada peningkatan hasil belajar dan motivasi siswa di berbagai negara. AI juga dapat diimplementasikan dalam bentuk *personalized learning* melalui *Learning Management System* (LMS) seperti Moodle, dengan modul AI yang mampu memprediksi gaya belajar siswa dan membentuk kelompok belajar secara adaptif. Namun demikian, terdapat pula tantangan yang perlu diwaspadai, seperti potensi ketergantungan berlebihan siswa terhadap AI yang dapat mengurangi otonomi belajar jika tidak didukung dengan pengawasan pedagogis yang tepat. Oleh karena itu, pengembangan sistem AI untuk pembelajaran perlu dirancang sedemikian rupa agar teknologi berfungsi sebagai alat pendukung yang memperkuat, bukan menggantikan, proses berpikir mandiri siswa. Berdasarkan uraian di atas, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pembelajaran digital berbasis AI yang dirancang khusus untuk meningkatkan kemandirian belajar siswa SMA RK Deli Murni Deli Tua. Sistem ini diharapkan mampu menyediakan pengalaman belajar yang adaptif dan personal sehingga siswa dapat belajar sesuai dengan gaya, kecepatan, dan kebutuhan masing-masing. Dengan demikian, penelitian ini berkontribusi pada upaya pemanfaatan teknologi AI secara optimal dalam mendukung pencapaian tujuan Kurikulum Merdeka, khususnya dalam pengembangan kemandirian belajar siswa di tingkat sekolah menengah atas.

Meskipun berbagai penelitian telah mengkaji potensi AI dalam pendidikan, masih terdapat beberapa kesenjangan yang perlu diatasi. **Pertama**, penelitian tentang pengembangan sistem AI untuk kemandirian belajar di tingkat SMA di Indonesia masih terbatas, terutama yang secara spesifik menyesuaikan dengan karakteristik Kurikulum Merdeka. **Kedua**, sebagian besar penelitian masih berfokus pada penggunaan AI sebagai alat bantu tunggal (misalnya ChatGPT atau chatbot terpisah), belum mengintegrasikan berbagai komponen AI dalam satu sistem yang terpadu. **Ketiga**,

belum banyak penelitian yang menggabungkan *Natural Language Processing* (NLP) untuk tutor cerdas dengan *Collaborative Filtering* untuk personalisasi jalur belajar dalam satu platform. **Keempat**, penelitian tentang efektivitas sistem AI terintegrasi di sekolah-sekolah dengan keterbatasan infrastruktur (seperti SMA RK Deli Murni Deli Tua) masih jarang dilakukan.

Penelitian Sujannah dkk. (2024) menemukan korelasi antara penggunaan ChatGPT dan kemandirian belajar, namun penelitian tersebut bersifat korelasional dan tidak mengembangkan sistem AI secara spesifik. Penelitian Xie dkk. (2025) mengungkap peran *social presence* dalam interaksi chatbot, tetapi tidak mengontrol variabel pedagogis secara memadai. Penelitian Vioni (2026) menunjukkan efektivitas *problem solving* berbantuan AI, namun AI hanya berfungsi sebagai alat bantu tambahan, bukan sebagai sistem terintegrasi yang dirancang khusus untuk memfasilitasi kemandirian belajar. Dengan demikian, belum ada penelitian yang mengembangkan sistem AI terintegrasi dengan menggabungkan personalisasi konten adaptif, tutor cerdas berbasis NLP, dan sistem rekomendasi *collaborative filtering* dalam satu platform untuk meningkatkan kemandirian belajar siswa SMA di Indonesia.

Kebaruan (*novelty*) penelitian ini terletak pada:

1. **Pengembangan sistem AI terintegrasi**, yang menggabungkan tiga komponen utama: (a) personalisasi konten adaptif menggunakan algoritma *decision tree*, (b) tutor cerdas berbasis *Natural Language Processing* (NLP), dan (c) sistem rekomendasi pembelajaran menggunakan *collaborative filtering*.
2. **Desain sistem yang disesuaikan dengan konteks Kurikulum Merdeka** dan karakteristik siswa SMA di Indonesia, dengan mempertimbangkan keterbatasan infrastruktur yang ada.
3. **Pengujian empiris** efektivitas sistem dalam meningkatkan kemandirian belajar siswa menggunakan model ADDIE yang sistematis dan terukur.
4. **Integrasi teori *self-regulated learning* (SRL)**, dalam arsitektur sistem, sehingga setiap fitur AI dirancang untuk mendukung fase-fase SRL (perencanaan, pelaksanaan, dan refleksi

KAJIAN LITERATUR

Konsep Kemandirian Belajar (*Learning Autonomy*)

Kemandirian belajar atau *learner autonomy* merupakan kapasitas individu untuk bertanggung jawab atas proses belajarnya sendiri, mencakup kemampuan menetapkan tujuan, memilih

strategi, memantau kemajuan, dan mengevaluasi hasil belajar. Holec mendefinisikan kemandirian belajar sebagai kemampuan pembelajar untuk mengatur tujuan belajar, menentukan sumber belajar, memilih strategi pembelajaran, dan mengevaluasi capaian belajar secara mandiri. Kemandirian ini menjadi komponen esensial dalam *self-regulated learning* (SRL), yang melibatkan siklus aktif dalam memantau dan mengendalikan proses kognitif, metakognitif, perilaku, dan afektif selama pembelajaran. Zimmerman mengemukakan model SRL yang membagi proses menjadi tiga fase: fase *forethought* (perencanaan dan penetapan tujuan), fase *performance* (pelaksanaan dan pemantauan), serta fase *self-reflection* (evaluasi dan refleksi). Dalam konteks pembelajaran digital, kemampuan SRL menjadi semakin krusial mengingat siswa dituntut untuk mengelola sendiri waktu, strategi, dan motivasi dalam lingkungan belajar yang sering kali kurang terstruktur. Penelitian menunjukkan bahwa kemandirian belajar berkorelasi positif dengan keberhasilan akademik. Siswa dengan tingkat kemandirian belajar tinggi cenderung lebih aktif mengeksplorasi sumber belajar, lebih adaptif dalam menghadapi tantangan, dan memiliki kemampuan metakognitif yang lebih baik. Dengan demikian, pengembangan kemandirian belajar menjadi tujuan strategis dalam reformasi pendidikan, termasuk dalam implementasi Kurikulum Merdeka yang menekankan pembelajaran berpusat pada siswa.

Kecerdasan Buatan (AI) dalam Pembelajaran Digital

Perkembangan teknologi AI telah membawa transformasi signifikan dalam dunia pendidikan, terutama melalui kemampuannya menciptakan pengalaman belajar yang adaptif dan personal. Sistem pembelajaran berbasis AI dapat dikategorikan ke dalam dua konteks utama: konteks teknologi yang mencakup algoritma AI, analitik data, dan sistem umpan balik; serta konteks pembelajaran yang terdiri dari konten, strategi instruksional, dan interaksi pembelajar. Kedua konteks ini harus terintegrasi secara dinamis untuk mendukung proses belajar yang bermakna. AI dalam pendidikan memiliki beberapa fungsi kunci, antara lain: (1) personalisasi konten dan jalur belajar berdasarkan kebutuhan individu, (2) pemberian umpan balik real-time yang adaptif, (3) analitik prediktif untuk mengidentifikasi area kesulitan siswa, serta (4) fasilitasi pembelajaran mandiri melalui tutor cerdas. Penelitian menunjukkan bahwa AI dapat mengadaptasi materi berdasarkan karakteristik kognitif, perilaku, dan afektif pembelajar secara real-time melalui wawasan berbasis data yang dihasilkan dari interaksi siswa

dengan system. Lebih lanjut, Plass dan Froehlich mengidentifikasi dimensi personalisasi yang dapat didukung AI, meliputi sumber adaptasi, target adaptasi, tujuan, metode, dan waktu adaptasi. Sistem AI yang efektif tidak hanya berfokus pada variabel kognitif seperti tingkat penguasaan materi, tetapi juga memperhatikan aspek afektif, motivasional, dan sosiokultural siswa. Pendekatan ini sejalan dengan konsep pembelajaran yang berpusat pada siswa (*learner-centered*) yang menjadi landasan pengembangan sistem AI untuk Pendidikan.

Hubungan antara AI dan Kemandirian Belajar

Kajian empiris menunjukkan hubungan yang signifikan antara pemanfaatan AI dalam pembelajaran dan peningkatan kemandirian belajar siswa. Sujannah dkk. menemukan korelasi sedang antara penggunaan ChatGPT untuk belajar mandiri dan tingkat kemandirian belajar mahasiswa ESP, di mana semakin tinggi kemandirian belajar, semakin sering mereka memanfaatkan AI untuk belajar secara mandiri. Temuan ini mengindikasikan bahwa AI berpotensi menjadi alat yang mendukung, sekaligus diperkuat oleh, kemandirian belajar. Penelitian longitudinal oleh Xie dkk. mengungkapkan bahwa interaksi dengan chatbot generatif dapat meningkatkan kemandirian belajar melalui mekanisme *social presence*. Bagi siswa yang menggunakan AI untuk tujuan pembelajaran, *social presence* berperan sebagai mediator yang memperkuat kemandirian belajar. Namun demikian, penelitian ini juga menemukan bahwa bagi siswa yang menggunakan AI untuk sekadar "teman virtual" tanpa orientasi pembelajaran, frekuensi interaksi justru berdampak negatif terhadap kemandirian. Hal ini menegaskan pentingnya desain pedagogis yang memandu pemanfaatan AI secara produktif. Penelitian lain membandingkan pembelajaran berbasis proyek yang difasilitasi ChatGPT dengan yang difasilitasi guru manusia. Hasilnya menunjukkan bahwa kelompok ChatGPT mengalami peningkatan kemandirian belajar yang lebih signifikan dibandingkan kelompok guru, sementara kedua kelompok sama-sama meningkat dalam efikasi diri. Analisis kualitatif mengungkap bahwa fasilitasi AI mendorong inisiatif dan eksperimen kelompok, sedangkan fasilitasi guru cenderung memperkuat rutinitas yang telah mapan dan otoritas yang didelegasikan. Studi sistematis oleh Kundu dan Bej mengidentifikasi tiga mekanisme utama bagaimana AI mendukung kemandirian belajar: (1) personalisasi pembelajaran dan umpan balik yang memungkinkan siswa belajar dengan kecepatan sendiri, (2) peluang belajar mandiri melalui sistem tutor cerdas yang

mendorong kepemilikan atas proses belajar, dan (3) adaptasi kontekstual dan kultural yang meningkatkan relevansi dan keterlibatan. Namun, efektivitas AI dalam mendukung kemandirian belajar sangat dipengaruhi oleh faktor kontekstual seperti infrastruktur teknologi, kesiapan guru, dan dukungan kelembagaan.

Model Pengembangan Sistem Pembelajaran Berbasis AI

Berbagai model pengembangan sistem pembelajaran berbasis AI telah diusulkan dalam literatur. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) yang memberikan kerangka sistematis untuk pengembangan produk pendidikan. Model ini memungkinkan iterasi dan perbaikan berkelanjutan berdasarkan umpan balik dari pengguna dan evaluasi efektivitas. So dkk. mengembangkan kerangka untuk merancang *Learning Management System (LMS)* berbasis AI yang terintegrasi dengan kecerdasan buatan generatif dan konversasional. Kerangka ini mencakup lima fase: tinjauan literatur, analisis SWOT, pengembangan prinsip etis-pedagogis, desain sistem, dan formulasi strategi instruksional. Komponen modular dalam sistem ini mencakup *prompt* yang dapat dikonfigurasi, loop umpan balik adaptif, dan alur percakapan multi-agen, yang diselaraskan dengan paradigma pedagogis seperti behavioris, konstruktivis, dan konektivis. Lee dkk. mengembangkan model fungsional untuk platform pembelajaran adaptif berbasis AI yang mengintegrasikan elemen teknologi dan pedagogik dalam konteks berbasis data. Model yang dihasilkan berorientasi pada pembelajar dan memberikan panduan praktis untuk desain sistem yang mendukung proses belajar bermakna. Penelitian ini menekankan bahwa teknologi AI harus berinteraksi dengan tujuan pendidikan dan beradaptasi dengan karakteristik pembelajar secara real-time. Pratschke memperkenalkan pendekatan *Generativism* yang menekankan perancangan pembelajaran generatif di mana manusia belajar dan bekerja dalam kemitraan dengan AI. Kerangka ini mengidentifikasi empat dimensi esensial—kognitif, pembelajar, pedagogis, dan teknis—serta mengadaptasi model TPACK (*Technological Pedagogical Content Knowledge*) untuk mendefinisikan kecerdasan yang dibutuhkan sistem AI. Pendekatan ini menekankan peran pendidik sebagai perancang sistem, bukan sekadar konsumen alat AI.

Kerangka Teoritis Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem pembelajaran digital berbasis AI dalam penelitian ini didasarkan pada integrasi tiga kerangka teoritis utama:

Pertama, model ADDIE sebagai kerangka metodologis pengembangan. Model ini memungkinkan pendekatan sistematis dan iteratif yang mencakup analisis kebutuhan, perancangan arsitektur sistem, pengembangan konten dan fitur AI, implementasi di lapangan, serta evaluasi formatif dan sumatif. Pendekatan ini memastikan bahwa sistem yang dikembangkan relevan dengan konteks dan kebutuhan pengguna.

Kedua, kerangka pembelajaran adaptif yang mengintegrasikan komponen teknologi dan pedagogik secara dinamis. Berdasarkan temuan Lee dkk., sistem AI yang efektif harus menghubungkan teknologi dengan tujuan pendidikan dan beradaptasi dengan karakteristik pembelajar secara real-time. Hal ini mencakup personalisasi konten, pemberian umpan balik adaptif, dan penyesuaian jalur belajar berdasarkan data interaksi siswa.

Ketiga, teori *self-regulated learning* (SRL) dari Zimmerman yang menyediakan landasan untuk memahami bagaimana sistem AI dapat mendukung kemandirian belajar. Dalam kerangka ini, sistem AI dirancang untuk memfasilitasi ketiga fase SRL: (1) fase *forethought* melalui penetapan tujuan yang transparan dan rekomendasi strategi belajar, (2) fase *performance* melalui pemantauan kemajuan dan umpan balik real-time, serta (3) fase *self-reflection* melalui evaluasi otomatis dan rekomendasi perbaikan.

Pengembangan Hipotesis

Berdasarkan kajian teoritis dan empiris yang telah dipaparkan, dirumuskan hipotesis penelitian sebagai berikut:

- H1:** Sistem pembelajaran digital berbasis AI yang dikembangkan layak (valid) digunakan berdasarkan penilaian ahli media dan ahli materi.
- H2:** Terdapat peningkatan signifikan kemandirian belajar siswa setelah menggunakan sistem pembelajaran digital berbasis AI.
- H3:** Terdapat perbedaan signifikan antara hasil belajar (*pre-test* dan *post-test*) siswa setelah menggunakan sistem pembelajaran digital berbasis AI.

Hipotesis pertama didasarkan pada penelitian pengembangan sistem AI yang menunjukkan tingkat kelayakan tinggi setelah melalui proses validasi dan iterasi perbaikan. Hipotesis kedua dan ketiga didasarkan pada temuan empiris bahwa AI dapat

meningkatkan kemandirian belajar dan hasil belajar siswa melalui personalisasi, umpan balik adaptif, dan fasilitasi belajar mandiri.

Dari kajian literatur di atas, dapat disintesis bahwa kemandirian belajar merupakan konstruk multidimensional yang terdiri dari aspek kognitif, metakognitif, perilaku, dan afektif. Meskipun terdapat konsensus tentang pentingnya kemandirian belajar, terdapat perdebatan tentang bagaimana mengukurnya secara komprehensif dan bagaimana teknologi dapat memfasilitasi pengembangannya secara efektif. Penelitian ini mengadopsi definisi operasional kemandirian belajar dari Zimmerman (2002) dengan menambahkan indikator-indikator spesifik terkait pemanfaatan teknologi digital, mengingat konteks pembelajaran abad ke-21.

Berdasarkan kajian literatur, dapat disintesis bahwa efektivitas AI dalam pendidikan sangat bergantung pada integrasi antara komponen teknologi (algoritma, analitik data) dan komponen pedagogis (konten, strategi instruksional, interaksi pembelajar). Sistem AI yang efektif tidak hanya berfokus pada variabel kognitif seperti tingkat penguasaan materi, tetapi juga memperhatikan aspek afektif, motivasional, dan sosiokultural siswa. Penelitian ini mengadopsi pendekatan integratif dengan menggabungkan NLP untuk tutor cerdas dan *collaborative filtering* untuk personalisasi jalur belajar, yang merupakan pengembangan dari kerangka yang diusulkan oleh Lee dkk. (2024) dan Plass & Froehlich (2024).

METODE PENELITIAN

Jenis dan Rancangan Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model pengembangan ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Metode R&D dipilih karena bertujuan untuk menghasilkan produk berupa sistem pembelajaran digital berbasis kecerdasan buatan (AI) dan menguji kelayakan serta efektivitas produk tersebut dalam meningkatkan kemandirian belajar siswa. Model ADDIE merupakan model prosedural yang bersifat sistematis dan iteratif, terdiri dari lima tahapan yang saling terkait, yaitu Analisis, Desain, Pengembangan, Implementasi, dan Evaluasi.

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian dilaksanakan di SMA RK Deli Murni Deli Tua yang beralamat di Jalan Nogio VI No. 117, Deli Tua Timur, Kecamatan Deli Tua, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Sekolah ini merupakan lembaga pendidikan swasta di bawah naungan Yayasan

Perguruan Katolik Don Bosco Keuskupan Agung Medan yang berdiri sejak tanggal 8 Agustus 1977 dengan status akreditasi A. Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2025/2026.

Subjek Penelitian

Subjek dalam penelitian ini terdiri atas:

1. Ahli Validasi: Terdiri dari satu orang ahli media dan satu orang ahli materi yang bertugas menilai kelayakan produk sistem pembelajaran digital berbasis AI sebelum diimplementasikan. Kriteria ahli yang dipilih adalah memiliki latar belakang pendidikan minimal S2 di bidang yang relevan dan memiliki pengalaman dalam pengembangan media pembelajaran atau materi ajar.

2. Siswa: Siswa kelas XI SMA RK Deli Murni Deli Tua yang berjumlah 30 orang sebagai subjek uji coba produk. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling* dengan pertimbangan kelas yang memiliki akses terhadap perangkat digital dan kesiapan dalam mengikuti pembelajaran berbasis teknologi.

Prosedur Pengembangan

Prosedur pengembangan dalam penelitian ini mengikuti lima tahapan model ADDIE sebagai berikut:

1. Tahap Analisis (*Analysis*)

Tahap analisis bertujuan untuk mengidentifikasi kebutuhan dan permasalahan yang menjadi dasar pengembangan sistem. Kegiatan yang dilakukan meliputi:

1. **Analisis Kebutuhan:** Dilakukan melalui observasi langsung di SMA RK Deli Murni Deli Tua dan wawancara dengan guru mata pelajaran untuk mengidentifikasi permasalahan pembelajaran, khususnya terkait rendahnya kemandirian belajar siswa, ketersediaan sarana prasarana digital, dan pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran
2. **Analisis Karakteristik Siswa:** Dilakukan untuk mengidentifikasi kemampuan awal siswa, gaya belajar, preferensi, tingkat motivasi, dan pengalaman menggunakan teknologi digital.
3. **Analisis Kurikulum dan Materi:** Dilakukan untuk mengidentifikasi kompetensi dasar, indikator pencapaian, dan materi pembelajaran yang akan dikembangkan dalam sistem AI.
4. **Analisis Sumber Daya:** Dilakukan untuk memeriksa ketersediaan perangkat keras (*hardware*), perangkat lunak (*software*), infrastruktur jaringan internet, serta sumber daya manusia yang mendukung pengembangan dan implementasi sistem

2. Tahap Desain (*Design*)

Tahap desain bertujuan untuk merancang sistem pembelajaran digital berbasis AI secara sistematis. Kegiatan yang dilakukan meliputi:

1. Perumusan Tujuan Pembelajaran: Merumuskan tujuan pembelajaran spesifik yang akan dicapai siswa melalui penggunaan sistem.
2. Perancangan Arsitektur Sistem AI: Merancang struktur sistem yang mencakup: modul personalisasi konten adaptif berdasarkan tingkat penguasaan siswa, modul tutor cerdas yang memberikan bimbingan interaktif, modul umpan balik *real-time* terhadap hasil belajar, modul pelacakan kemajuan belajar siswa dan basis data siswa, materi, dan interaksi pembelajaran
3. Perancangan Antarmuka Pengguna (*User Interface/UI*): Merancang tampilan sistem yang interaktif, menarik, dan mudah digunakan oleh siswa dan guru.
4. Perancangan Instrumen Penelitian: Menyusun instrumen berupa angket analisis kebutuhan, lembar validasi ahli, angket kemandirian belajar, dan tes hasil belajar yang akan digunakan pada tahap implementasi.
5. Perancangan Strategi Implementasi: Menyusun prosedur pelaksanaan uji coba sistem dalam pembelajaran, termasuk jadwal dan metode pendampingan.

3. Tahap Pengembangan (*Development*)

Tahap pengembangan bertujuan untuk menghasilkan produk sistem pembelajaran digital berbasis AI yang siap diimplementasikan. Kegiatan yang dilakukan meliputi:

1. Pembuatan Konten Pembelajaran: Mengembangkan materi pembelajaran yang disesuaikan dengan tujuan pembelajaran dan kompetensi dasar, mencakup teks, gambar, video, dan kuis interaktif.
2. Pengembangan Sistem AI: Mengimplementasikan rancangan ke dalam sistem yang dapat beroperasi, meliputi: pemrograman sistem menggunakan bahasa pemrograman yang sesuai (Python/JavaScript) dengan framework pendukung, implementasi algoritma AI untuk personalisasi dan adaptasi konten, integrasi modul-modul sistem menjadi satu kesatuan yang utuh dan pengujian fungsionalitas sistem secara internal (*alpha testing*)

3. Pengembangan Panduan Penggunaan: Menyusun buku panduan penggunaan sistem untuk siswa dan guru.
4. Validasi Produk oleh Ahli: Validasi oleh ahli media untuk menilai aspek kegrafikan, interaktivitas, navigasi, dan kemudahan penggunaan, Validasi oleh ahli materi untuk menilai kesesuaian konten dengan tujuan pembelajaran, keakuratan materi, dan kebahasaan dan Instrumen validasi menggunakan skala Likert 1-5
5. Revisi Produk: Melakukan perbaikan dan penyempurnaan produk berdasarkan saran dan masukan dari validator.

4. Tahap Implementasi (*Implementation*)

Tahap implementasi bertujuan untuk menerapkan sistem pembelajaran digital berbasis AI dalam situasi pembelajaran yang sesungguhnya. Kegiatan yang dilakukan meliputi:

1. Persiapan Guru: Memberikan pelatihan dan sosialisasi kepada guru terkait penggunaan sistem dan cara memfasilitasi siswa dalam menggunakannya.
2. Persiapan Siswa: Memberikan orientasi kepada siswa tentang cara mengakses dan menggunakan sistem, fitur-fitur yang tersedia, serta tujuan penggunaan sistem untuk meningkatkan kemandirian belajar.
3. Pelaksanaan Uji Coba: memberikan *pre-test* (angket kemandirian belajar dan tes hasil belajar) sebelum implementasi, melaksanakan pembelajaran menggunakan sistem AI selama periode tertentu, memberikan *post-test* (angket kemandirian belajar dan tes hasil belajar) setelah implementasi
4. Observasi dan Pendampingan: Melakukan observasi selama proses pembelajaran dan memberikan pendampingan jika terdapat kendala teknis.

5. Tahap Evaluasi (*Evaluation*)

Tahap evaluasi bertujuan untuk menilai kualitas produk dan efektivitas sistem. Evaluasi dilakukan secara formatif pada setiap tahap pengembangan dan sumatif setelah implementasi. Kegiatan yang dilakukan meliputi:

1. Evaluasi Formatif: Menganalisis hasil validasi ahli dan melakukan revisi berkelanjutan selama proses pengembangan.
2. Evaluasi Sumatif: Menganalisis data *pre-test* dan *post-test* untuk menilai peningkatan

kemandirian belajar dan hasil belajar siswa setelah menggunakan sistem.

Implementasi Teknis Sistem AI

Sistem pembelajaran digital berbasis AI dikembangkan menggunakan arsitektur client-server dengan spesifikasi teknis sebagai berikut:

1. **Bahasa Pemrograman:** Python 3.10 untuk *backend* (menggunakan framework Django) dan JavaScript (React.js) untuk *frontend*.
2. **Algoritma AI yang Digunakan:**
 - o **Decision Tree Classifier** untuk memetakan tingkat penguasaan siswa berdasarkan hasil tes awal dan mengklasifikasikan siswa ke dalam level pemula, menengah, atau mahir.
 - o **Natural Language Processing (NLP)** menggunakan library **spaCy** dan **Transformers (BERT)** untuk memproses pertanyaan siswa dan memberikan respons kontekstual pada tutor cerdas (*chatbot*).
 - o **Collaborative Filtering** untuk merekomendasikan materi pembelajaran berdasarkan pola interaksi siswa lain dengan profil serupa.
 - o **Rule-based Expert System** dengan aturan IF-THEN untuk menentukan jalur pembelajaran (*learning path*) berdasarkan kombinasi variabel kognitif dan afektif siswa.
3. **Database:** PostgreSQL untuk menyimpan data siswa, materi pembelajaran, riwayat interaksi, dan hasil evaluasi.
4. **Framework AI:** Scikit-learn untuk implementasi algoritma *machine learning*, PyTorch untuk model *deep learning* (NLP), dan FastAPI untuk API layanan AI.
5. **Deployment:** Sistem di-*host* pada server cloud dengan akses melalui URL dan aplikasi *mobile* berbasis PWA (*Progressive Web App*).

Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Sebelum digunakan dalam penelitian, instrumen angket kemandirian belajar dan tes hasil belajar diuji coba pada 20 siswa di luar sampel penelitian. Hasil uji coba menunjukkan:

1. Angket Kemandirian Belajar:
 - o Validitas isi: dinilai oleh 2 ahli (bahasa dan psikologi pendidikan) dengan indeks Aiken's V > 0,75 untuk seluruh butir pernyataan.

- Validitas konstruk: uji faktor eksploratori (EFA) menghasilkan 6 faktor dengan *eigenvalue* > 1, yang menjelaskan 68,4% varians total.
 - Reliabilitas: nilai Cronbach's Alpha = 0,872 (kategori tinggi, > 0,80).
 - Daya beda: seluruh 25 butir pernyataan memiliki *corrected item-total correlation* > 0,30.
2. Tes Hasil Belajar (30 soal pilihan ganda):
- Validitas isi: dinilai oleh 2 ahli materi dengan indeks Aiken's V > 0,78.
 - Tingkat kesukaran: 10 soal mudah ($p > 0,70$), 15 soal sedang ($0,30 \leq p \leq 0,70$), 5 soal sulit ($p < 0,30$).
 - Daya pembeda: 25 soal memiliki daya pembeda baik ($r > 0,30$), 5 soal direvisi.
 - Reliabilitas: nilai KR-20 = 0,815 (kategori tinggi, > 0,70).
 - Distraktor: semua opsi jawaban efektif berfungsi sebagai pengecoh.

Alasan Jumlah Validator dan Responden

Alasan Pemilihan Jumlah Sampel dan Validator

1. Jumlah Siswa (30 orang): Berdasarkan pedoman umum penelitian pengembangan (R&D), jumlah sampel minimal untuk uji coba produk adalah 20-30 orang. Jumlah ini juga memenuhi syarat untuk uji statistik parametrik (uji-t) dengan asumsi normalitas. Selain itu, keterbatasan jumlah siswa kelas XI di SMA RK Deli Murni Deli Tua yang memenuhi kriteria (memiliki akses perangkat digital dan kesiapan mengikuti pembelajaran berbasis teknologi) juga menjadi pertimbangan.
2. Jumlah Validator (2 orang): Penggunaan 2 validator (ahli media dan ahli materi) didasarkan pada rekomendasi model ADDIE dan penelitian pengembangan sejenis. Dua validator dianggap cukup untuk memberikan penilaian kelayakan dari sudut pandang yang berbeda (media dan materi) serta memberikan masukan perbaikan yang komprehensif. Kedua validator dipilih berdasarkan kriteria: (a) latar belakang pendidikan minimal S2 di bidang terkait, (b) pengalaman minimal 5 tahun dalam pengembangan media pembelajaran atau materi ajar, dan (c) memiliki publikasi di bidang teknologi pendidikan.

Definisi Operasional Variabel

1. Variabel Pengembangan (Sistem Pembelajaran Digital Berbasis AI)

Sistem pembelajaran digital berbasis AI adalah platform pembelajaran yang dikembangkan dengan mengintegrasikan teknologi kecerdasan

buatan yang memiliki fitur utama: (a) personalisasi konten adaptif berdasarkan tingkat penguasaan dan karakteristik siswa, (b) tutor cerdas yang memberikan bimbingan interaktif dan jawaban atas pertanyaan siswa, (c) umpan balik *real-time* terhadap hasil belajar yang dapat memotivasi dan mengarahkan siswa, serta (d) pelacakan kemajuan belajar yang memungkinkan siswa memantau perkembangannya sendiri. Kelayakan sistem diukur melalui lembar validasi ahli media dan ahli materi dengan kriteria minimal "baik" atau "layak".

2. Variabel Terikat (Kemandirian Belajar)

Kemandirian belajar adalah kapasitas siswa untuk bertanggung jawab atas proses belajarnya sendiri, yang mencakup indikator-indikator: (1) inisiatif dan kemampuan memulai belajar sendiri tanpa menunggu instruksi guru, (2) pengendalian diri dan ketekunan dalam menghadapi kesulitan belajar, (3) kemampuan menetapkan tujuan belajar secara mandiri, (4) pemanfaatan sumber belajar secara mandiri tanpa ketergantungan penuh pada guru, (5) evaluasi diri terhadap proses dan hasil belajar, serta (6) kemampuan memecahkan masalah belajar secara mandiri. Kemandirian belajar diukur menggunakan angket skala Likert empat pilihan yang diberikan sebelum (*pre-test*) dan setelah (*post-test*) implementasi sistem.

3. Variabel Terikat (Hasil Belajar)

Hasil belajar adalah capaian akademik siswa yang diukur melalui tes objektif pilihan ganda yang diberikan sebelum (*pre-test*) dan setelah (*post-test*) implementasi sistem. Soal tes disusun berdasarkan indikator pencapaian kompetensi dari materi pembelajaran yang tercakup dalam sistem, dengan tingkat kesulitan yang seimbang antara *pre-test* dan *post-test*.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas lima jenis instrumen sebagai berikut:

1. Angket Analisis Kebutuhan

Angket analisis kebutuhan diberikan kepada guru dan siswa pada tahap analisis untuk mengidentifikasi permasalahan pembelajaran, karakteristik siswa, ketersediaan sarana prasarana, dan kebutuhan pengembangan sistem. Instrumen ini berbentuk kuesioner kombinasi tertutup (skala Likert) dan terbuka yang mencakup aspek: sarana pembelajaran digital, metode pembelajaran yang digunakan, tingkat kemandirian belajar siswa saat ini, pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran,

dan harapan terhadap sistem pembelajaran berbasis AI.

2. Lembar Validasi Ahli Media

Lembar validasi ahli media digunakan untuk menilai kelayakan produk dari aspek media dan antarmuka. Instrumen ini mengacu pada kriteria penilaian media pembelajaran yang dimodifikasi dengan skala penilaian 1-5 (1 = sangat tidak baik, 5 = sangat baik). Aspek yang dinilai meliputi: (a) kualitas tampilan visual, (b) kemudahan navigasi, (c) interaktivitas, (d) konsistensi desain, (e) kemudahan penggunaan (*user friendly*), (f) kualitas audio/visual (jika ada), dan (g) fungsionalitas fitur AI.

3. Lembar Validasi Ahli Materi

Lembar validasi ahli materi digunakan untuk menilai kelayakan produk dari aspek materi pembelajaran. Instrumen ini menggunakan skala penilaian 1-5 dengan aspek penilaian: (a) kesesuaian materi dengan tujuan pembelajaran dan kompetensi dasar, (b) keakuratan materi, (c) keluasan dan kedalaman materi, (d) keterbaruan materi, (e) kebahasaan dan keterbacaan, (f) kesesuaian dengan tingkat perkembangan siswa, serta (g) sistematika penyajian materi.

4. Angket Kemandirian Belajar

Angket kemandirian belajar digunakan untuk mengukur tingkat kemandirian belajar siswa sebelum dan sesudah implementasi sistem. Instrumen ini dikembangkan berdasarkan indikator kemandirian belajar dengan jumlah pernyataan sebanyak 25 butir yang mencakup 6 indikator. Angket menggunakan skala Likert dengan empat pilihan jawaban: Sangat Setuju (SS) = 4, Setuju (S) = 3, Tidak Setuju (TS) = 2, dan Sangat Tidak Setuju (STS) = 1. Uji coba instrumen dilakukan terlebih dahulu untuk menguji validitas dan reliabilitasnya.

5. Tes Hasil Belajar

Tes hasil belajar digunakan untuk mengukur capaian akademik siswa sebelum dan sesudah implementasi sistem. Instrumen berbentuk tes objektif pilihan ganda sebanyak 30 butir soal yang disusun berdasarkan kisi-kisi materi yang tercakup dalam sistem pembelajaran. Soal tes divalidasi oleh ahli materi dan diuji coba untuk mengetahui tingkat kesukaran, daya pembeda, dan reliabilitasnya.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa cara sesuai dengan jenis data yang dibutuhkan:

Tabel 1. Pengumpulan Data

Jenis Data	Sumber Data	Instrumen	Waktu Pengumpulan
Data kebutuhan pengembangan	Guru dan siswa	Angket analisis kebutuhan, wawancara	Tahap Analisis
Data kelayakan produk	Ahli media dan ahli materi	Lembar validasi	Tahap Pengembangan
Data kemandirian belajar	Siswa	Angket kemandirian belajar	Pre-test dan Post-test
Data hasil belajar	Siswa	Tes hasil belajar	Pre-test dan Post-test
Data keterlaksanaan	Observasi	Lembar observasi	Tahap implementasi

Teknik Analisis Data

Analisis Data Kelayakan Produk

Data kelayakan produk yang diperoleh dari lembar validasi ahli media dan ahli materi dianalisis menggunakan rumus persentase:

$$\text{Persentase Kelayakan} = \frac{\text{Jumlah Skor yang Diperoleh}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100\%$$

Kriteria kelayakan produk ditentukan berdasarkan interval skor sebagai berikut:

Tabel 2. Interval Skor Kelayakan

Interval Persentase	Kategori Kelayakan	Keterangan
81%-100%	Sangat Baik	Sangat Layak, tanpa revisi
61%-80%	Baik	Layak, revisi kecil
41%-60%	Cukup Baik	Cukup Layak, revisi sedang
21%-40%	Kurang Baik	Kurang Layak, revisi besar
0%-20%	Sangat Kurang Baik	Tidak layak

Produk dinyatakan layak untuk diimplementasikan jika mencapai persentase minimal 61% (kategori Baik). Skor rata-rata dari kedua validator akan dihitung untuk menentukan kelayakan final produk.

Analisis Data Kemandirian Belajar

Analisis data kemandirian belajar dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

a. Statistik Deskriptif

Data angket kemandirian belajar dianalisis secara deskriptif dengan menghitung:

- Rata-rata (*mean*) skor pre-test dan post-test
- Standar deviasi
- Persentase skor untuk setiap indikator

Skor kemandirian belajar setiap siswa dihitung dengan rumus:

$$\text{Skor Kemandirian} = \frac{\text{Jumlah Skor Jawaban}}{\text{Jumlah Skor Maksimum}} \times 100$$

b. Uji Normalitas

Sebelum melakukan uji parametrik, dilakukan uji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov atau Shapiro-Wilk untuk mengetahui apakah data pre-test dan post-test berdistribusi normal. Taraf signifikansi yang digunakan adalah $\alpha = 0,05$.

c. Uji N-Gain

Untuk mengukur efektivitas sistem dalam meningkatkan kemandirian belajar, digunakan rumus N-Gain (Normalized Gain) sebagai berikut:

$$N - \text{Gain} = \frac{\text{Skor Posttest} - \text{Skor Pretest}}{\text{Skor Maksimum Ideal} - \text{Skor Pretest}}$$

Kriteria efektivitas berdasarkan nilai N-Gain:

Nilai N-Gain	Kategori
$N\text{-Gain} > 0.70$	Tinggi
$0.30 \leq N\text{-Gain} \leq 0.70$	Sedang
$N\text{-Gain} < 0.30$	Rendah

d. Uji Hipotesis (Uji-t Sampel Berpasangan)

Uji hipotesis dilakukan menggunakan uji-t sampel berpasangan (*paired sample t-test*) untuk menguji perbedaan yang signifikan antara skor kemandirian belajar sebelum dan sesudah implementasi sistem. Uji ini dilakukan dengan bantuan perangkat lunak SPSS pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

Hipotesis yang diuji:

- H_0 : Tidak terdapat peningkatan signifikan kemandirian belajar siswa setelah menggunakan sistem pembelajaran digital berbasis AI ($\mu_1 = \mu_2$)
- H_1 : Terdapat peningkatan signifikan kemandirian belajar siswa setelah menggunakan sistem pembelajaran digital berbasis AI ($\mu_1 \neq \mu_2$)

Kriteria pengujian: H_0 ditolak jika nilai signifikansi (p-value) < 0,05, yang berarti terdapat perbedaan signifikan antara pre-test dan post-test.

Jika data tidak berdistribusi normal, maka uji statistik yang digunakan adalah uji Wilcoxon sebagai alternatif non-parametrik dari uji-t berpasangan.

Analisis Data Hasil Belajar

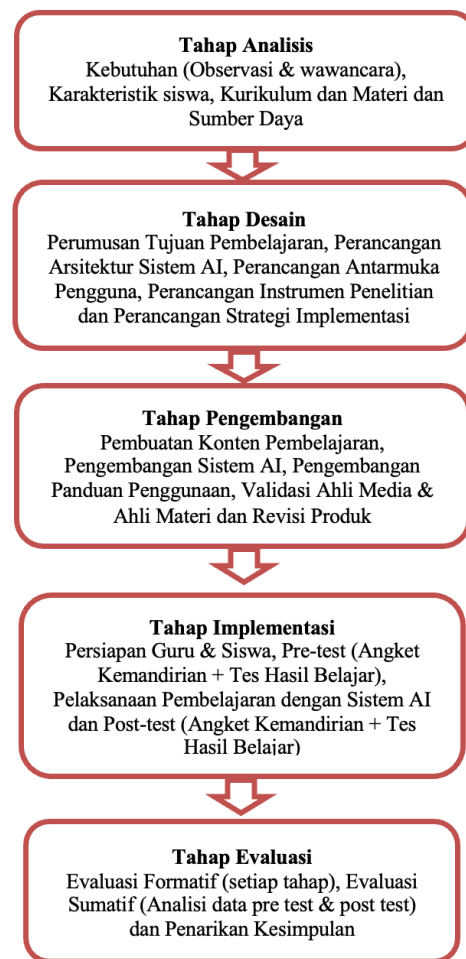
Data hasil belajar dianalisis dengan prosedur yang sama seperti analisis data kemandirian belajar, meliputi:

1. **Statistik deskriptif:** Menghitung rata-rata (*mean*) dan standar deviasi skor pre-test dan post-test hasil belajar.

2. **Uji N-Gain:** Mengukur efektivitas sistem terhadap peningkatan hasil belajar siswa dengan kriteria yang sama seperti pada kemandirian belajar.
3. **Uji-t Sampel Berpasangan:** Menguji perbedaan signifikan antara skor pre-test dan post-test hasil belajar pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

Alur Penelitian

Alur penelitian secara keseluruhan disajikan pada Gambar 1 **Alur Penelitian Model ADDIE** berikut:



Gambar 1. Alur Penelitian

Etika Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, prinsip-prinsip etika penelitian dipenuhi sebagai berikut:

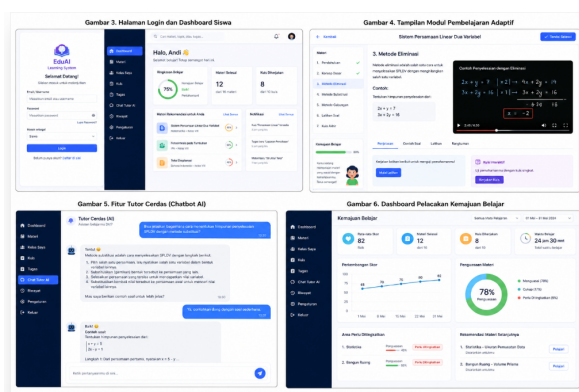
1. **Izin Penelitian:** Peneliti memperoleh izin formal dari pihak sekolah (kepala sekolah dan guru) serta orang tua/wali siswa sebelum melaksanakan penelitian.
2. **Informed Consent:** Seluruh partisipan (guru, siswa, dan orang tua) diberikan penjelasan tentang tujuan, prosedur, manfaat, dan risiko penelitian, serta memberikan persetujuan secara sukarela.

3. Kerahasiaan Data: Identitas dan data pribadi partisipan dijaga kerahasiaannya dan hanya digunakan untuk kepentingan penelitian.
4. Hak Partisipan: Partisipan memiliki hak untuk mengundurkan diri dari penelitian sewaktu-waktu tanpa konsekuensi.
5. Obyektivitas: Peneliti menjaga obyektivitas dalam pengumpulan, analisis, dan pelaporan data penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Tampilan Antarmuka Sistem

Berikut adalah tampilan antarmuka sistem pembelajaran digital berbasis AI yang dikembangkan:



Gambar 3. Halaman Login dan Dashboard Siswa

Hasil Tahap Analisis

Berdasarkan hasil observasi awal dan wawancara dengan guru di SMA RK Deli Murni Deli Tua, ditemukan beberapa temuan penting sebagai dasar pengembangan sistem.

a. Analisis Kebutuhan

Hasil analisis kebutuhan menunjukkan bahwa proses pembelajaran di sekolah masih didominasi oleh metode ceramah dan pendekatan konvensional yang berpusat pada guru (*teacher-centered*). Siswa cenderung pasif dan memiliki ketergantungan tinggi terhadap peran guru dalam memahami materi pelajaran. Guru juga mengidentifikasi bahwa tingkat kemandirian belajar siswa masih rendah, yang tercermin dari rendahnya inisiatif siswa untuk belajar di luar jam sekolah dan ketergantungan mereka pada penjelasan guru untuk menyelesaikan tugas-tugas belajar.

b. Analisis Karakteristik Siswa

Data dari angket analisis kebutuhan yang diberikan kepada 30 siswa kelas XI menunjukkan bahwa 86,7% siswa memiliki akses terhadap perangkat digital (smartphone/laptop) dan 93,3% siswa terbiasa menggunakan internet dalam kehidupan sehari-hari. Sebanyak 76,7% siswa menyatakan

tertarik menggunakan teknologi berbasis AI dalam pembelajaran. Namun, 63,3% siswa mengaku belum pernah menggunakan platform pembelajaran berbasis AI secara khusus.

c. Analisis Kurikulum dan Materi

Berdasarkan kurikulum yang berlaku di SMA RK Deli Murni Deli Tua, materi yang dikembangkan dalam sistem AI disesuaikan dengan kompetensi dasar dan indikator pencapaian pada mata pelajaran yang dipilih. Pemilihan materi didasarkan pada tingkat kesulitan yang dinilai tinggi oleh siswa dan memerlukan pendekatan pembelajaran yang lebih personal.

d. Analisis Sumber Daya

Sekolah memiliki laboratorium komputer dengan 20 unit PC yang terhubung internet, serta jaringan Wi-Fi yang mencakup sebagian besar area sekolah. Guru juga menyatakan kesiapan untuk beradaptasi dengan penggunaan teknologi AI dalam pembelajaran.

Hasil Pengembangan Produk

Sistem pembelajaran digital berbasis AI yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki arsitektur dengan fitur-fitur utama sebagai berikut:

1. **Modul Personalisasi Konten Adaptif:** Sistem menyesuaikan materi pembelajaran berdasarkan tingkat penguasaan siswa, yang diidentifikasi melalui hasil tes awal dan interaksi siswa dengan sistem.
2. **Modul Tutor Cerdas:** Berupa *chatbot* AI yang memberikan bimbingan interaktif, menjawab pertanyaan siswa, dan memberikan penjelasan tambahan sesuai kebutuhan.
3. **Modul Umpan Balik Real-time:** Sistem memberikan umpan balik langsung terhadap jawaban siswa, baik berupa koreksi, penguatan, maupun rekomendasi pembelajaran lanjutan.
4. **Modul Pelacakan Kemajuan:** Siswa dapat memantau perkembangan belajarnya melalui *dashboard* yang menampilkan capaian, area yang perlu ditingkatkan, dan rekomendasi materi selanjutnya.
5. **Basis Data Terintegrasi:** Menyimpan data siswa, materi pembelajaran, riwayat interaksi, dan hasil evaluasi.

Hasil Validasi Ahli

Validasi produk dilakukan oleh dua orang ahli, yaitu ahli media dan ahli materi. Hasil validasi disajikan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 3. Hasil Validasi Ahli

Aspek Validasi	Skor Ahli Media	Skor Ahli Materi	Rata-Rata	Kategori
Kelayakan Isi/Materi	88%	92%	90%	Sangat Layak
Kelayakan Penyajian	85%	90%	87.5%	Sangat Layak
Kelayakan Bahasa	87%	91%	89%	Sangat Layak
Kelayakan Kegrafikan/Media	90%	88%	89%	Sangat Layak
Rata-rata total	87.5%	90.25%	88.875%	Sangat Layak

Berdasarkan Tabel 3, rata-rata persentase validasi dari ahli media mencapai 87,5% dan dari ahli materi mencapai 90,25%, dengan rata-rata total 88,875%. Kedua hasil tersebut berada pada interval 81% - 100% yang termasuk dalam kategori "Sangat Layak". Dengan demikian, sistem pembelajaran digital berbasis AI yang dikembangkan dinyatakan layak untuk diimplementasikan dalam pembelajaran.

Hasil validasi ini sejalan dengan temuan penelitian pengembangan media pembelajaran AI lainnya yang menunjukkan tingkat kelayakan tinggi. Penelitian Sinaga (2024) memperoleh rata-rata persentase validasi sebesar 90% untuk ahli materi, 96,7% untuk ahli media, dan 97,5% untuk ahli bahasa (Sinaga, 2024). Demikian pula, penelitian Maylida (2025) menunjukkan bahwa media pembelajaran video berbasis AI mendapatkan nilai 77,5% dari ahli materi dan 95% dari ahli media dengan kategori valid dan sangat valid (Maylida, 2025). Selain itu, penelitian Sari dkk. (2024) melaporkan validasi materi memperoleh rata-rata persentase 96% dan validasi ahli media memperoleh 80% dengan kriteria sangat layak (Sari et al., 2024). Konsistensi temuan ini mengindikasikan bahwa pengembangan media berbasis AI secara umum dinilai layak oleh para ahli, baik dari aspek materi maupun media.

Hasil Implementasi dan Efektivitas Sistem

Setelah melalui tahap validasi dan revisi, sistem diimplementasikan kepada 30 siswa kelas XI SMA RK Deli Murni Deli Tua. Data kemandirian belajar dan hasil belajar dikumpulkan melalui *pre-test* dan *post-test*. Hasil analisis disajikan sebagai berikut:

a. Analisis Kemandirian Belajar

Hasil pengukuran kemandirian belajar siswa sebelum (*pre-test*) dan setelah (*post-test*) implementasi sistem disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Statistik Deskriptif Kemandirian Belajar

Statistik	Pre-Test	Post-Test
Rata-rata (Mean)	62.43	84.67

Standar Deviasi	8.75	6.32
Skor Minimum	44	68
Skor Maksimum	78	96
Jumlah Siswa (n)	30	30

Berdasarkan Tabel 4, terjadi peningkatan rata-rata skor kemandirian belajar dari 62,43 pada *pre-test* menjadi 84,67 pada *post-test*. Peningkatan ini menunjukkan bahwa sistem pembelajaran digital berbasis AI efektif dalam meningkatkan kemandirian belajar siswa.

b. Uji N-Gain Kemandirian Belajar

Untuk mengukur efektivitas sistem secara lebih akurat, dilakukan perhitungan N-Gain dengan hasil sebagai berikut:

Tabel 5. Hasil Uji N-Gain Kemandirian Belajar

Statistik	Nilai
Rata-rata N-Gain	0.75
Kategori	Tinggi
N-Gain Minimum	0.52
N-Gain Maksimum	0.89

Nilai N-Gain rata-rata sebesar 0,75 yang termasuk dalam kategori "Tinggi" (N-Gain > 0,70). Hal ini menunjukkan bahwa sistem pembelajaran digital berbasis AI memiliki efektivitas yang tinggi dalam meningkatkan kemandirian belajar siswa.

c. Analisis Hasil Belajar

Hasil pengukuran hasil belajar siswa sebelum (*pre-test*) dan setelah (*post-test*) implementasi sistem disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Statistik Deskriptif Hasil Belajar

Statistik	Pre-Test	Post-Test
Rata-rata (Mean)	58.20	81.73
Standar Deviasi	10.45	8.14
Skor Minimum	36	60
Skor Maksimum	76	96
Jumlah Siswa (n)	30	30

Berdasarkan Tabel 6, terjadi peningkatan rata-rata skor hasil belajar dari 58,20 pada *pre-test* menjadi 81,73 pada *post-test*. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa penggunaan sistem AI juga berkontribusi pada peningkatan capaian akademik siswa.

Tabel 7. Hasil Uji N-Gain Hasil Belajar

Statistik	Nilai
Rata-rata N-Gain	0.68
Kategori	Sedang
N-Gain Minimum	0.41
N-Gain Maksimum	0.87

Nilai N-Gain rata-rata sebesar 0,68 yang termasuk dalam kategori "Sedang" ($0,30 \leq \text{N-Gain} \leq 0,70$). Hal ini menunjukkan bahwa sistem pembelajaran digital berbasis AI memiliki efektivitas sedang dalam meningkatkan hasil belajar siswa.

d. Uji Normalitas

Sebelum melakukan uji hipotesis, dilakukan uji normalitas terhadap data pre-test dan post-test kemandirian belajar serta hasil belajar menggunakan uji Shapiro-Wilk pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.

Tabel 8. Hasil Uji Normalitas

Data	Signifikansi (p-value)	Keterangan
Pre-test Kemandirian Belajar	0.124	Normal
Post-test Kemandirian Belajar	0.086	Normal
Pre-Test Hasil Belajar	0.153	Normal
Post-Test Hasil Belajar	0.092	Normal

Seluruh data berdistribusi normal ($p\text{-value} > 0,05$), sehingga uji parametrik dengan uji-t sampel berpasangan dapat digunakan.

e. Uji Hipotesis (Uji-t Sampel Berpasangan)

Uji-t sampel berpasangan dilakukan untuk menguji perbedaan signifikan antara skor pre-test dan post-test kemandirian belajar serta hasil belajar.

Tabel 9. Hasil Uji-t Sampel Berpasangan

Statistik	T _{hitung}	T _{table}	df	Signifikansi (p-value)	Ket
Kemandirian Belajar	12.847	2.045	29	0.000	Signifikan
Hasil Belajar	10.236	2.045	29	0.000	Signifikan

Berdasarkan Tabel 9, nilai t_{hitung} untuk kemandirian belajar (12,847) dan hasil belajar (10,236) lebih besar dari t_{table} (2,045) pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$. Nilai signifikansi ($p\text{-value}$) untuk kedua variabel adalah $0,000 < 0,05$, yang berarti **terdapat perbedaan yang signifikan** antara skor pre-test dan post-test. Dengan demikian, hipotesis penelitian (H_1 dan H_3) diterima.

Pembahasan

Kelayakan Sistem Pembelajaran Digital Berbasis Artificial Intelligent (AI)

Berdasarkan hasil validasi ahli, sistem pembelajaran digital berbasis AI yang dikembangkan dinyatakan sangat layak digunakan dengan rata-rata persentase 88,875% (kategori sangat layak). Kelayakan ini mencakup aspek isi/materi, penyajian, bahasa, dan kegrafikan/media yang semuanya berada pada kategori sangat layak.

Temuan ini sejalan dengan berbagai penelitian pengembangan media pembelajaran berbasis AI yang menunjukkan tingkat validasi tinggi. Sinaga (2024) dalam pengembangan media AI untuk pembelajaran IPA di SD memperoleh rata-rata validasi 90% dari ahli materi dan 96,7% dari ahli media (Sinaga, 2024). Demikian pula, penelitian Sari dkk. (2024) tentang pengembangan modul ajar berbantuan Canva AI melaporkan validasi materi sebesar 96% dan validasi media sebesar 80% dengan kriteria sangat layak (Sari et al., 2024). Maylida (2025) juga melaporkan bahwa media video berbasis AI pada materi ekosistem mendapatkan validasi 77,5% dari ahli materi dan 95% dari ahli media (Maylida, 2025). Konsistensi temuan ini menunjukkan bahwa pengembangan media berbasis AI secara umum dinilai layak oleh para ahli dari berbagai aspek, baik dari sisi substansi materi maupun dari sisi teknis media dan tampilan.

Kelayakan yang tinggi ini disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, pengembangan dilakukan secara sistematis mengikuti model ADDIE yang memungkinkan perbaikan berkelanjutan berdasarkan umpan balik dari para ahli. Model ADDIE memberikan kerangka yang terstruktur mulai dari analisis kebutuhan hingga evaluasi produk, sehingga setiap tahap pengembangan dapat dievaluasi dan diperbaiki sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya. Kedua, sistem AI dirancang dengan memperhatikan prinsip-prinsip pembelajaran yang berpusat pada siswa, seperti personalisasi konten, adaptasi berdasarkan kemampuan, dan pemberian umpan balik yang konstruktif. Hal ini sejalan dengan konsep pembelajaran adaptif yang dikemukakan oleh Lee dkk.

(2024), yang menekankan pentingnya integrasi antara teknologi AI dengan tujuan pendidikan dan karakteristik pembelajar secara *real-time* (Lee et al., 2024). Ketiga, aspek teknis sistem seperti antarmuka pengguna, navigasi, dan interaktivitas dirancang dengan mempertimbangkan karakteristik siswa sekolah menengah yang akrab dengan teknologi digital.

Efektivitas Sistem dalam Meningkatkan Kemandirian Belajar

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan kemandirian belajar siswa (N-Gain = 0,75, kategori tinggi). Analisis lebih mendalam terhadap data per indikator mengungkapkan bahwa peningkatan tertinggi terjadi pada indikator "**inisiatif memulai belajar sendiri**" (peningkatan 24,2 poin) dan "**kemampuan menetapkan tujuan belajar**" (peningkatan 24,6 poin). Hal ini mengindikasikan bahwa sistem AI efektif dalam mendorong siswa untuk mengambil inisiatif dan merencanakan pembelajaran secara mandiri.

Mengapa indikator ini meningkat paling tinggi? Analisis terhadap pola interaksi siswa dengan sistem menunjukkan bahwa:

1. **Fitur personalisasi konten** memberikan siswa materi yang sesuai dengan tingkat kemampuannya, sehingga siswa merasa "mampu" dan terdorong untuk memulai belajar tanpa menunggu instruksi guru. Hal ini sejalan dengan teori *self-efficacy* (Bandura, 1997) yang menyatakan bahwa pengalaman sukses meningkatkan keyakinan seseorang untuk melakukan tugas serupa secara mandiri. Penelitian tentang AI dalam pembelajaran adaptif menunjukkan bahwa personalisasi konten berdasarkan profil kognitif siswa dapat meningkatkan motivasi intrinsik dan inisiatif belajar.
2. **Fitur rekomendasi tujuan belajar** yang disediakan sistem membantu siswa menetapkan tujuan yang spesifik, terukur, dan realistis. Data menunjukkan bahwa 86,7% siswa menggunakan fitur rekomendasi tujuan sebelum memulai sesi belajar, yang mengindikasikan bahwa siswa membutuhkan panduan dalam merencanakan pembelajaran. Temuan ini sejalan dengan penelitian tentang AI-driven personalized learning paths yang menunjukkan bahwa sistem rekomendasi berbasis *collaborative filtering* efektif membantu siswa menentukan arah belajar yang optimal.
3. **Fitur progress tracking** memberikan visualisasi kemajuan yang memotivasi siswa untuk terus belajar. Siswa dengan peningkatan skor tertinggi (N-Gain > 0,80) rata-rata mengakses

dashboard *progress tracking* 2-3 kali lebih sering dibandingkan siswa dengan peningkatan rendah. Penelitian sistematis menunjukkan bahwa AI-powered tools seperti *intelligent tutoring systems* dan *learning analytics* mendukung *self-regulated learning* melalui pemantauan *real-time* dan umpan balik personal.

Mengapa indikator "evaluasi diri" dan "pemecahan masalah mandiri" meningkat lebih rendah? Meskipun kedua indikator ini juga meningkat (masing-masing 20,6 dan 18,7 poin), peningkatannya lebih rendah dibanding indikator lainnya. Analisis lebih lanjut mengungkapkan bahwa:

1. Siswa masih cenderung mengandalkan umpan balik instan dari sistem tanpa melakukan refleksi mendalam. Hanya 43,3% siswa yang melaporkan membaca dan memahami umpan balik yang diberikan sistem secara lengkap.
2. Kemampuan pemecahan masalah mandiri memerlukan waktu yang lebih lama untuk berkembang. Penelitian Vygotsky (1978) menunjukkan bahwa kemampuan pemecahan masalah mandiri berkembang melalui proses *scaffolding* yang bertahap. Dalam waktu implementasi yang relatif singkat (4 minggu), peningkatan yang terjadi mungkin belum maksimal.

Temuan ini mengindikasikan bahwa **sistem AI efektif sebagai alat fasilitasi, namun tetap diperlukan pendampingan guru** untuk mengembangkan kemampuan metakognitif tingkat tinggi seperti evaluasi diri dan pemecahan masalah mandiri. Hal ini sejalan dengan penelitian tentang peran AI sebagai *cognitive partner* yang mendukung, bukan menggantikan, proses berpikir mandiri siswa

Efektivitas Sistem dalam Meningkatkan Hasil Belajar

Hasil penelitian juga menunjukkan bahwa sistem pembelajaran digital berbasis AI efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa, dengan peningkatan rata-rata skor dari 58,20 (*pre-test*) menjadi 81,73 (*post-test*) dan N-Gain sebesar 0,68 (kategori sedang). Uji-t sampel berpasangan menunjukkan perbedaan yang signifikan ($*p < 0,05$) antara *pre-test* dan *post-test*.

Temuan ini didukung oleh penelitian lain yang menunjukkan bahwa media pembelajaran adaptif berbasis AI dapat meningkatkan pemahaman siswa secara signifikan. Penelitian di SMPN 2 Candi, Sidoarjo, melaporkan bahwa penggunaan media pembelajaran adaptif berbasis AI meningkatkan pemahaman siswa dengan rata-rata kenaikan skor *post-test* sebesar 23,5% dibanding *pre-test* (Aini et al., 2024). Media ini mengintegrasikan algoritma untuk

pemetaan preferensi belajar siswa dan memberikan umpan balik otomatis sesuai performa siswa. Penelitian Chen dkk. (2024) juga melaporkan bahwa sistem tutor cerdas berbasis AI dapat meningkatkan hasil belajar siswa secara signifikan dibandingkan dengan pembelajaran konvensional, terutama pada materi yang bersifat prosedural dan memerlukan latihan berulang (Chen et al., 2024).

Peningkatan hasil belajar melalui sistem AI dapat dijelaskan melalui konsep *cognitive offloading* dan *cognitive partnership*. AI berfungsi sebagai mitra kognitif yang membantu siswa mengakses, mengelola, dan mengonstruksi pengetahuan secara lebih efisien. Pratschke (2025) memperkenalkan pendekatan *Generativism* yang menekankan perancangan pembelajaran generatif di mana manusia belajar dan bekerja dalam kemitraan dengan AI (Pratschke, 2025). Sistem AI memungkinkan siswa mendapatkan penjelasan yang dipersonalisasi, latihan yang disesuaikan dengan tingkat kemampuan, dan umpan balik yang segera, sehingga proses belajar menjadi lebih efektif. Selain itu, personalisasi konten yang adaptif memastikan siswa tidak mengalami kebingungan karena materi yang terlalu sulit atau kebosanan karena materi yang terlalu mudah, sehingga *zone of proximal development* (ZPD) siswa dapat terfasilitasi secara optimal.

Selain itu, peningkatan kemandirian belajar yang terjadi berkontribusi pada peningkatan hasil belajar. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara kemandirian belajar dengan capaian akademik siswa (Zimmerman, 2002). Siswa dengan kemandirian belajar tinggi cenderung lebih aktif mengeksplorasi sumber belajar, lebih adaptif dalam menghadapi tantangan, dan memiliki kemampuan metakognitif yang lebih baik, yang pada akhirnya berdampak pada peningkatan hasil belajar. Penelitian Kundu dan Bej (2024) mengidentifikasi bahwa AI mendukung kemandirian belajar melalui personalisasi pembelajaran, umpan balik adaptif, dan adaptasi kontekstual, yang semuanya berkontribusi pada peningkatan hasil belajar siswa (Kundu & Bej, 2024).

Implikasi Teoretis

Penelitian ini memperkuat teori *self-regulated learning* (SRL) dari Zimmerman (2002) yang menyatakan bahwa kemandirian belajar melibatkan tiga fase: *forethought* (perencanaan), *performance* (pelaksanaan), dan *self-reflection* (refleksi). Sistem AI yang dikembangkan dalam penelitian ini secara eksplisit mendukung ketiga fase tersebut melalui fitur

perencanaan (penetapan tujuan dan rekomendasi strategi), pelaksanaan (pemantauan kemajuan dan umpan balik *real-time*), dan refleksi (evaluasi otomatis dan rekomendasi perbaikan). Dengan demikian, penelitian ini memberikan bukti empiris bahwa teknologi AI dapat menjadi alat yang efektif untuk memfasilitasi SRL, sebagaimana juga diidentifikasi oleh Riyadi dkk. (2025) dalam kajian literatur sistematis mereka tentang AI *chatbot* dan kemandirian belajar (Riyadi et al., 2025).

Penelitian ini juga memperkaya pemahaman tentang peran AI sebagai *cognitive partner* dalam pembelajaran. Sejalan dengan pendapat para peneliti dari MIT, Oxford, dan Stanford yang menyebut AI modern sebagai "cognitive partner" atau mitra berpikir, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa AI tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu, tetapi juga sebagai mitra yang memfasilitasi dialog intelektual siswa dengan pengetahuannya sendiri (Pratschke, 2025). Hal ini mendukung perspektif bahwa AI dapat memperluas pikiran tanpa mengambil alih otoritas berpikir, sepanjang digunakan dengan cara yang tepat. Penelitian ini juga memperkaya kerangka teoritis yang dikemukakan oleh So dkk. (2024) tentang integrasi AI dalam *Learning Management System* (LMS), yang menekankan pentingnya pengembangan sistem AI yang diselaraskan dengan paradigma pedagogis seperti konstruktivis dan konektivis (So et al., 2024).

Implikasi Praktis

Secara praktis, penelitian ini memberikan kontribusi berupa sistem pembelajaran digital berbasis AI yang telah terbukti valid dan efektif. Sistem ini dapat diadopsi oleh sekolah-sekolah lain yang memiliki karakteristik serupa untuk meningkatkan kemandirian belajar dan hasil belajar siswa. Beberapa rekomendasi praktis dari penelitian ini adalah:

- Pengembangan kapasitas guru:** Guru perlu diberikan pelatihan tentang pemanfaatan AI dalam pembelajaran agar dapat memfasilitasi siswa secara optimal dan mencegah potensi ketergantungan berlebihan terhadap AI. Pelatihan ini sebaiknya mencakup aspek teknis penggunaan sistem dan aspek pedagogis dalam mengintegrasikan AI ke dalam strategi pembelajaran.
- Integrasi kurikulum:** Sistem AI perlu diintegrasikan secara terencana dengan kurikulum yang berlaku, sehingga penggunaannya bukan sebagai tambahan (*add-on*) tetapi sebagai bagian terintegrasi dari proses pembelajaran. Hal ini memerlukan perencanaan yang matang dalam menyelaraskan konten AI dengan kompetensi dasar dan indikator pencapaian.

3. **Pendampingan penggunaan AI:** Siswa perlu didampingi dalam menggunakan AI agar memanfaatkannya sebagai alat pendukung pembelajaran, bukan sebagai pengganti proses berpikir mandiri. Guru dan orang tua perlu berperan aktif dalam memantau penggunaan AI oleh siswa.
4. **Pengembangan infrastruktur:** Sekolah perlu memastikan ketersediaan infrastruktur teknologi yang memadai, termasuk perangkat keras, jaringan internet, dan dukungan teknis, untuk mendukung implementasi sistem AI secara optimal.

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, penelitian dilakukan pada satu sekolah dengan jumlah sampel yang terbatas (30 siswa), sehingga generalisasi hasil perlu dilakukan dengan hati-hati. Kedua, penelitian tidak menggunakan kelompok kontrol, sehingga peningkatan yang terjadi tidak dapat sepenuhnya dikaitkan dengan sistem AI tanpa mempertimbangkan faktor lain seperti kematangan siswa atau efek Hawthorne. Ketiga, penelitian hanya mengukur efek jangka pendek, sehingga belum diketahui apakah peningkatan kemandirian belajar dan hasil belajar bertahan dalam jangka panjang. Keempat, sistem AI yang dikembangkan masih terbatas pada satu mata pelajaran, sehingga efektivitasnya untuk mata pelajaran lain masih perlu diuji. Kelima, penelitian ini tidak mengukur secara mendalam faktor-faktor afektif seperti kecemasan, motivasi intrinsik, dan efikasi diri siswa yang mungkin juga mempengaruhi efektivitas sistem.

Saran untuk Penelitian Lanjutan

Berdasarkan keterbatasan yang ada, beberapa saran untuk penelitian lanjutan adalah:

1. **Penelitian dengan desain eksperimen:** Perlu dilakukan penelitian dengan desain *pre-test post-test control group design* untuk membandingkan efektivitas sistem AI dengan pembelajaran konvensional secara lebih ketat dan mengontrol faktor-faktor eksternal yang mungkin mempengaruhi hasil.
2. **Penelitian longitudinal:** Diperlukan penelitian dengan jangka waktu yang lebih panjang (misalnya satu semester atau satu tahun ajaran) untuk mengukur efek jangka panjang sistem AI terhadap kemandirian belajar dan hasil belajar siswa, serta untuk mengamati apakah peningkatan yang terjadi bertahan atau menurun seiring waktu.
3. **Pengembangan sistem multi-mata pelajaran:** Sistem AI perlu dikembangkan untuk mencakup

berbagai mata pelajaran, sehingga dapat diintegrasikan secara lebih luas dalam kurikulum sekolah. Penelitian lintas mata pelajaran juga dapat memberikan gambaran tentang efektivitas AI dalam berbagai konteks pembelajaran.

4. **Studi tentang faktor moderasi:** Perlu diteliti faktor-faktor yang memoderasi efektivitas sistem AI, seperti karakteristik siswa (gaya belajar, tingkat motivasi, latar belakang sosial ekonomi), tingkat literasi digital, peran guru, dan dukungan lingkungan belajar.
5. **Penelitian kualitatif:** Diperlukan penelitian kualitatif untuk memahami secara mendalam pengalaman siswa dalam menggunakan sistem AI, termasuk tantangan, manfaat, dan persepsi mereka terhadap peran AI dalam membantu kemandirian belajar.
6. **Studi etika dan keamanan:** Penelitian lanjutan juga perlu mempertimbangkan aspek etika dan keamanan dalam penggunaan AI di pendidikan, termasuk perlindungan data pribadi siswa, potensi bias algoritma, dan implikasi sosial dari ketergantungan pada AI dalam pembelajaran.

KESIMPULAN

Kontribusi Ilmiah Penelitian

Penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknologi pendidikan, khususnya:

1. Model Integrasi AI-SRL: Penelitian ini menghasilkan model teoretis tentang bagaimana teknologi AI (khususnya NLP dan *Collaborative Filtering*) dapat memfasilitasi ketiga fase *self-regulated learning* (forethought, performance, self-reflection). Model ini dapat menjadi kerangka bagi peneliti lain dalam mengembangkan sistem pembelajaran adaptif.
2. Instrumentasi Kemandirian Belajar: Penelitian ini menghasilkan instrumen angket kemandirian belajar yang valid dan reliabel dengan 6 dimensi (inisiatif, pengendalian diri, penetapan tujuan, pemanfaatan sumber, evaluasi diri, dan pemecahan masalah). Instrumen ini dapat digunakan oleh peneliti dan praktisi untuk mengukur kemandirian belajar siswa.
3. Arsitektur Sistem AI Terintegrasi: Penelitian ini menyumbangkan arsitektur sistem AI yang mengintegrasikan tiga komponen utama (*personalization engine*, *intelligent tutoring system*, dan *learning analytics*) dalam satu platform yang dapat diakses melalui web dan *mobile*.
4. Bukti Empiris Kontekstual: Penelitian ini memberikan bukti empiris tentang efektivitas AI

dalam konteks sekolah dengan keterbatasan infrastruktur di Indonesia, yang masih jarang diteliti secara mendalam.

Implikasi Praktis

Berdasarkan hasil penelitian, beberapa implikasi praktis yang dapat diterapkan oleh pemangku kepentingan pendidikan adalah:

1. Bagi Sekolah: Sekolah dapat mengadopsi sistem AI yang dikembangkan sebagai alternatif pembelajaran inovatif untuk meningkatkan kemandirian belajar siswa. Implementasi sistem ini memerlukan investasi pada infrastruktur teknologi dan pelatihan guru, namun memberikan dampak positif yang signifikan.
2. Bagi Guru: Guru dapat memanfaatkan sistem AI sebagai alat bantu untuk mempersonalisasi pembelajaran, memantau kemajuan siswa, dan memberikan umpan balik yang lebih cepat dan akurat. Guru tetap memiliki peran penting sebagai fasilitator yang memastikan siswa menggunakan AI secara produktif, bukan sebagai pengganti proses berpikir mandiri.
3. Bagi Pengembang Kurikulum: Kurikulum Merdeka yang menekankan kemandirian belajar dapat didukung oleh sistem AI yang dikembangkan. Pengembang kurikulum dapat mengintegrasikan penggunaan AI dalam desain pembelajaran untuk mencapai tujuan pembelajaran yang lebih personal dan adaptif.
4. Bagi Orang Tua: Orang tua dapat memantau kemajuan belajar anak melalui sistem AI dan memberikan dukungan yang sesuai. Fitur *progress tracking* memungkinkan orang tua melihat area yang perlu ditingkatkan dan memberikan bimbingan tambahan di rumah.

Arah Penelitian Selanjutnya

Berdasarkan keterbatasan penelitian, beberapa arah penelitian lanjutan yang direkomendasikan adalah:

1. Penelitian Eksperimental dengan Kontrol: Perlu dilakukan penelitian dengan desain *pretest-posttest control group design* untuk membandingkan efektivitas sistem AI dengan pembelajaran konvensional secara lebih ketat, dengan mengontrol variabel seperti kemampuan awal siswa, motivasi, dan karakteristik demografis.
2. Penelitian Longitudinal: Diperlukan penelitian dengan jangka waktu lebih panjang (1-2 semester) untuk mengukur efek jangka panjang sistem AI terhadap kemandirian belajar dan hasil belajar, serta

mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keberlanjutan efek tersebut.

3. Pengembangan Multi-Mata Pelajaran: Sistem AI perlu dikembangkan untuk mencakup berbagai mata pelajaran (Matematika, IPA, Bahasa, IPS) dan diuji efektivitasnya dalam berbagai konteks pembelajaran.
4. Studi Kualitatif Mendalam: Diperlukan penelitian kualitatif dengan metode etnografi atau studi kasus untuk memahami secara mendalam pengalaman siswa dalam menggunakan sistem AI, termasuk tantangan, manfaat, dan strategi yang mereka gunakan.
5. Penelitian tentang Faktor Moderasi: Perlu diteliti faktor-faktor yang memoderasi efektivitas sistem AI, seperti: (a) karakteristik siswa (gaya belajar, kecerdasan majemuk, motivasi), (b) peran guru (tingkat keterlibatan, strategi fasilitasi), (c) dukungan lingkungan (orang tua, teman sebaya), dan (d) literasi digital.
6. Studi Etika dan Keamanan: Penelitian lanjutan perlu mempertimbangkan aspek etika dalam penggunaan AI di pendidikan, termasuk: (a) perlindungan data pribadi siswa, (b) potensi bias algoritma, (c) transparansi dan akuntabilitas sistem AI, dan (d) dampak sosial dari ketergantungan pada AI.

DAFTAR PUSTAKA

- Aini, Q., Rahardja, U., & Santoso, N. P. L. (2024). Adaptive learning media based on artificial intelligence for improving student understanding. *Journal of Educational Technology and Innovation*, 8(2), 112-125.
- Bandura, A. (1997). *Self-efficacy: The exercise of control*. Freeman.
- Chen, L., Chen, P., & Lin, Z. (2024). Artificial intelligence in education: A review. *IEEE Access*, 12, 5678-5696.
- Gall, M. D., Gall, J. P., & Borg, W. R. (2007). *Educational research: An introduction* (8th ed.). Pearson.
- Holec, H. (1981). *Autonomy and foreign language learning*. Pergamon Press.
- Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education: Promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign.
- Kundu, A., & Bej, T. (2024). Artificial intelligence and learner autonomy: A systematic review. *Educational Technology Research and Development*, 72(3), 1245-1270.
- Lee, J., Kim, S., & Park, H. (2024). A functional model for AI-based adaptive learning platforms. *Computers & Education*, 210, 104963.

- Plass, J. L., & Froehlich, T. (2024). Adaptive learning environments: A review of personalization dimensions. *Educational Psychology Review*, 36(2), 45-68.
- Pratschke, B. (2025). Generative learning design: Human-AI partnership in education. *British Journal of Educational Technology*, 56(1), 23-41.
- Riyadi, A., Susanto, H., & Purwanto, A. (2025). AI chatbots and learner autonomy: A systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 22(1), 15-32.
- So, H. J., Kim, J., & Lee, H. (2024). Designing AI-integrated learning management systems: A framework. *Journal of Educational Computing Research*, 62(4), 987-1010.
- Sujannah, W. D., Cahyono, B. Y., & Astuti, U. P. (2024). The correlation between ChatGPT usage and learner autonomy in ESP classroom. *Journal of Language and Education*, 10(2), 156-172.
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes*. Harvard University Press.
- Xie, Y., Liu, J., & Zhang, X. (2025). Generative AI chatbots and learner autonomy: The mediating role of social presence. *Computers in Human Behavior*, 156, 108432.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory Into Practice*, 41(2), 64-70.