

Personalized Learning Through Adaptive Technologies in E-Learning Environments

Pembelajaran Personal melalui Teknologi Adaptif dalam Lingkungan E-Learning

Erika¹, Arthur Simanjuntak², Ika Yuni Purnama^{3*}, Asher Nuche⁴

¹Department of Accountancy, STIE Professional Management College, Indonesia

²Department of Management Science, Universitas Methodist Indonesia, Indonesia

³Department of Interior Design, Institut Kesenian Jakarta, Indonesia

⁴Ijiis Incorporation, Singapore

¹iyoori.seol@gmail.com, ²as_smjt@rocketmail.com, ³ikayuni@ikj.ac.id, ⁴ashernuche@ijiis.asia

*Corresponding Author

Article Info

Article history:

Penyerahan Juni 29, 2026

Revisi Juli 07, 2026

Diterima Agustus 12, 2026

Diterbitkan Agustus 30, 2026

Keywords:

Adaptive Technologies
Personalized Learning
Educational Accessibility
E-Learning
Digital Learning

Kata Kunci:

Teknologi Adaptif
Pembelajaran yang
Dipersonalisasi
Aksesibilitas Pendidikan
E-Learning
Pembelajaran Digital



ABSTRACT

The rapid development of digital learning technologies has transformed educational practices by enabling more personalized and accessible learning experiences in e-learning environments. As a Background, adaptive technologies have emerged as a promising approach to address diverse learner needs and improve educational accessibility. **The Objective** of this study is to examine the influence of adaptive technologies on personalized learning experiences and their impact on educational accessibility in e-learning environments. **The Method employed** a quantitative research approach using a survey distributed to 334 respondents who had experience using e-learning platforms. Data were analyzed using Structural Equation Modeling (SEM) with SmartPLS to evaluate the relationships among the proposed constructs. **The Results indicate** that adaptive technologies significantly enhance personalized learning experiences by providing tailored learning content, individualized feedback, and flexible learning pathways. **Furthermore, the findings** reveal that personalized learning experiences have a positive and significant effect on educational accessibility, enabling learners with different backgrounds, abilities, and learning preferences to engage more effectively in the learning process. Adaptive technologies were also found to have a direct positive influence on educational accessibility. **In Conclusion**, the study demonstrates that the integration of adaptive technologies plays a crucial role in fostering personalized learning and improving educational accessibility within e-learning environments. These findings provide valuable insights for educators, educational institutions, and e-learning developers in designing inclusive and learner-centered digital learning systems that support diverse educational needs and promote equitable access to quality education.

This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.



ABSTRAK

Perkembangan pesat teknologi pembelajaran digital telah mengubah praktik pendidikan dengan menghadirkan pengalaman belajar yang lebih personal dan mudah diakses dalam lingkungan *e-learning*. Sebagai Background, teknologi adaptif muncul sebagai solusi yang menjanjikan untuk memenuhi kebutuhan peserta didik yang beragam serta meningkatkan aksesibilitas pendidikan. **Objective penelitian** ini adalah menganalisis pengaruh teknologi adaptif terhadap pengalaman belajar yang dipersonalisasi serta dampaknya terhadap aksesibilitas pendidikan dalam lingkungan *e-learning*. **Method yang**

digunakan adalah pendekatan kuantitatif melalui penyebaran kuesioner kepada 334 responden yang memiliki pengalaman menggunakan *platform e-learning*. Data dianalisis menggunakan *Structural Equation Modeling* (SEM) berbasis Smart-PLS untuk menguji hubungan antar konstruk yang diusulkan. **Result penelitian** menunjukkan bahwa teknologi adaptif secara signifikan meningkatkan pengalaman belajar yang dipersonalisasi melalui penyediaan materi pembelajaran yang sesuai kebutuhan, umpan balik individual, serta jalur pembelajaran yang fleksibel. **Selain itu, pengalaman belajar** yang dipersonalisasi terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap aksesibilitas pendidikan dengan memungkinkan peserta didik dari berbagai latar belakang, kemampuan, dan preferensi belajar untuk berpartisipasi secara lebih efektif dalam proses pembelajaran. Teknologi adaptif juga ditemukan memiliki pengaruh langsung yang positif terhadap aksesibilitas pendidikan. **Conclusion penelitian** ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi adaptif berperan penting dalam mendorong pembelajaran yang lebih personal dan meningkatkan aksesibilitas pendidikan dalam lingkungan *e-learning*. Temuan ini memberikan implikasi bagi pendidik, institusi pendidikan, dan pengembang *platform e-learning* dalam merancang sistem pembelajaran digital yang inklusif, berpusat pada peserta didik, dan mendukung pemerataan akses terhadap pendidikan berkualitas.

This is an open access article under the [CC BY](#) license.



DOI: <https://doi.org/10.33050/mentari.v5i1.1189>

This is an open-access article under the CC-BY license <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

©Authors retain all copyrights

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital yang sangat pesat telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk di bidang pendidikan. Transformasi digital mendorong semakin luasnya penerapan sistem pembelajaran elektronik (*e-learning*) yang memungkinkan proses belajar mengajar berlangsung secara fleksibel tanpa dibatasi oleh ruang dan waktu [1]. Melalui *platform e-learning*, peserta didik dapat mengakses materi pembelajaran, berinteraksi dengan pengajar, serta mengikuti berbagai aktivitas akademik secara daring. Meskipun demikian, banyak sistem *e-learning* masih menerapkan pendekatan pembelajaran yang bersifat seragam (*one-size-fits-all*), sehingga belum mampu mengakomodasi kebutuhan, kemampuan, gaya belajar, serta preferensi individu peserta didik yang beragam. Kondisi ini dapat menyebabkan rendahnya keterlibatan belajar, menurunnya motivasi, dan kurang optimalnya hasil pembelajaran [2]. Untuk mengatasi tantangan tersebut, teknologi adaptif (*adaptive technologies*) hadir sebagai inovasi yang memungkinkan sistem pembelajaran menyesuaikan materi, metode, dan pengalaman belajar dengan karakteristik peserta didik. Dengan memanfaatkan kecerdasan buatan, analitik data, dan *machine learning*, teknologi ini dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih personal, relevan, dan sesuai dengan kebutuhan setiap individu [3].



Gambar 1. Sustainable Development Goal

Aksesibilitas pendidikan merupakan salah satu aspek penting dalam mewujudkan pendidikan yang inklusif dan berkualitas di era digital seperti Gambar 1 serta sejalan dengan *Sustainable Development Goal* (SDG) 4 (*Quality Education*) yang menekankan pentingnya pendidikan yang inklusif, berkualitas, dan dapat diakses secara merata. Aksesibilitas tidak hanya berkaitan dengan ketersediaan teknologi atau akses internet, tetapi juga mencakup kemampuan setiap peserta didik untuk memperoleh kesempatan belajar yang setara sesuai dengan kebutuhan dan karakteristik mereka. Dalam lingkungan *e-learning*, peserta didik sering kali menghadapi berbagai hambatan, seperti perbedaan kemampuan kognitif, latar belakang pendidikan, tingkat literasi digital, keterbatasan fisik, maupun perbedaan gaya belajar [4]. Teknologi adaptif menawarkan solusi potensial untuk mengatasi hambatan tersebut melalui penyediaan materi yang disesuaikan dengan tingkat kemampuan peserta didik, pemberian umpan balik secara individual, rekomendasi sumber belajar yang relevan, serta jalur pembelajaran yang fleksibel. Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pembelajaran yang dipersonalisasi (*personalized learning*) dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan, kepuasan, dan hasil belajar peserta didik. Namun demikian, penelitian yang secara khusus mengkaji bagaimana teknologi adaptif memengaruhi aksesibilitas pendidikan melalui pengalaman belajar yang dipersonalisasi dalam lingkungan *e-learning* masih relatif terbatas [5]. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lebih lanjut untuk memahami hubungan antara teknologi adaptif, pengalaman belajar yang dipersonalisasi, dan aksesibilitas pendidikan secara lebih komprehensif guna mendukung pengembangan sistem pembelajaran digital yang inklusif dan sejalan dengan pencapaian SDG 4.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh teknologi adaptif terhadap aksesibilitas pendidikan melalui pengalaman belajar yang dipersonalisasi dalam lingkungan *e-learning*, dengan fokus pada sejauh mana teknologi adaptif mampu meningkatkan pengalaman belajar personal serta kontribusinya terhadap peningkatan aksesibilitas pendidikan [6]. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan melibatkan 334 responden yang memiliki pengalaman menggunakan platform *e-learning*, sedangkan data dianalisis menggunakan (SEM) berbasis SmartPLS untuk menguji hubungan langsung maupun tidak langsung antarvariabel dalam model penelitian. Penggunaan SEM dipilih karena mampu menganalisis hubungan yang kompleks antarvariabel laten secara simultan, sehingga dapat memberikan bukti empiris mengenai peran teknologi adaptif dalam menciptakan lingkungan pembelajaran digital yang lebih personal, efektif, dan mudah diakses [7]. Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya literatur mengenai teknologi adaptif, *personalized learning*, dan aksesibilitas pendidikan dalam konteks *e-learning*, sedangkan secara praktis hasil penelitian dapat menjadi referensi bagi institusi pendidikan, pengembang platform pembelajaran digital, pengajar, dan pembuat kebijakan dalam merancang sistem pembelajaran yang lebih inklusif dan berpusat pada peserta didik [8]. Implementasi fitur adaptif seperti rekomendasi materi cerdas, umpan balik personal, dan evaluasi yang disesuaikan dengan kemampuan peserta didik diharapkan dapat mendukung peningkatan kualitas pembelajaran digital, pemerataan akses pendidikan, serta pengembangan lingkungan *e-learning* yang lebih responsif, inklusif, dan berkelanjutan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Lingkungan Pembelajaran Elektronik

E-learning telah menjadi salah satu komponen penting dalam pendidikan modern seiring dengan pesatnya perkembangan teknologi digital dan platform pembelajaran berbasis internet. *E-learning* mengacu pada penyampaian materi pendidikan dan aktivitas pembelajaran melalui media elektronik, sehingga peserta didik dapat mengakses sumber belajar tanpa terbatas oleh lokasi geografis dan waktu [9]. Dibandingkan dengan pembelajaran konvensional di dalam kelas, *e-learning* menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi karena memungkinkan peserta didik belajar sesuai dengan kecepatan masing-masing, sekaligus menyediakan kesempatan untuk berinteraksi secara sinkron maupun asinkron dengan pengajar dan sesama peserta didik. Integrasi *Learning Management Systems* (LMS), sumber daya multimedia, komputasi awan, dan teknologi seluler juga telah meningkatkan kualitas dan aksesibilitas pembelajaran daring secara signifikan. Oleh karena itu, institusi pendidikan semakin banyak mengadopsi lingkungan *e-learning* untuk mendukung pembelajaran sepanjang hayat, pembelajaran campuran, dan pendidikan jarak jauh [10].

Meskipun memiliki berbagai keunggulan, lingkungan *e-learning* konvensional masih sering menggunakan pendekatan pembelajaran yang terstandarisasi sehingga belum mampu mengakomodasi karakteristik peserta didik yang beragam. Setiap peserta didik memiliki tingkat pengetahuan awal, gaya belajar, kemampuan kognitif, dan latar belakang pendidikan yang berbeda, sehingga pengalaman belajar yang seragam dapat men-

jadi kurang efektif. Keterbatasan tersebut mendorong berkembangnya sistem *e-learning* yang berpusat pada peserta didik dan mampu menyediakan pengalaman belajar yang lebih fleksibel serta sesuai dengan kebutuhan individu [11]. Dengan demikian, lingkungan *e-learning* modern semakin dituntut untuk mengintegrasikan teknologi cerdas yang dapat mendukung pembelajaran yang dipersonalisasi, meningkatkan keterlibatan peserta didik, serta memperkuat aksesibilitas pendidikan bagi berbagai kelompok peserta didik.

2.2. Teknologi Adaptif dan Pembelajaran yang Dipersonalisasi

Teknologi adaptif merupakan salah satu inovasi penting dalam pendidikan digital karena memungkinkan sistem pembelajaran secara otomatis menyesuaikan materi pembelajaran berdasarkan karakteristik masing-masing peserta didik [12]. Teknologi ini memanfaatkan *Artificial Intelligence* (AI), *Machine Learning* (ML), *Learning Analytics*, dan algoritma berbasis data untuk menganalisis perilaku peserta didik, memantau perkembangan pembelajaran, serta memberikan rekomendasi yang dipersonalisasi. Berbeda dengan sistem yang menyajikan materi pembelajaran yang sama kepada seluruh peserta didik, sistem adaptif dapat menyesuaikan jalur pembelajaran, bentuk penilaian, dan strategi pembelajaran secara dinamis berdasarkan kinerja dan preferensi peserta didik. Kemampuan tersebut memungkinkan platform pendidikan memberikan dukungan yang lebih sesuai dengan kebutuhan individu sehingga dapat meningkatkan efektivitas pembelajaran dan kepuasan peserta didik [13].

Penerapan teknologi adaptif juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap pengembangan pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi. Pembelajaran yang dipersonalisasi menekankan penyesuaian konten pendidikan, kecepatan belajar, metode pembelajaran, serta umpan balik berdasarkan kebutuhan setiap peserta didik. Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa pembelajaran yang dipersonalisasi dapat meningkatkan motivasi, keterlibatan, kemampuan belajar mandiri, dan pencapaian akademik karena peserta didik memperoleh pengalaman belajar yang lebih sesuai dengan kemampuan dan harapan mereka [14]. Oleh karena itu, teknologi adaptif dipandang sebagai salah satu faktor penting yang memungkinkan terwujudnya pembelajaran yang dipersonalisasi, sekaligus mendukung terciptanya lingkungan pendidikan yang lebih efisien dan berpusat pada peserta didik serta mampu merespons kebutuhan peserta didik yang beragam.

2.3. Aksesibilitas Pendidikan

Aksesibilitas pendidikan mengacu pada kemampuan seluruh peserta didik untuk memperoleh kesempatan yang setara dalam berpartisipasi secara efektif dalam kegiatan pendidikan tanpa dibatasi oleh kondisi fisik, kemampuan kognitif, latar belakang sosial ekonomi, maupun preferensi belajar. Dalam konteks pendidikan digital, aksesibilitas tidak hanya berkaitan dengan ketersediaan koneksi internet atau perangkat digital, tetapi juga mencakup penyediaan materi pembelajaran, metode pengajaran, dan teknologi pendidikan yang mampu mengakomodasi keberagaman karakteristik peserta didik. Seiring dengan semakin luasnya penerapan pembelajaran daring oleh institusi pendidikan, peningkatan aksesibilitas pendidikan menjadi salah satu tujuan penting dalam menciptakan lingkungan pembelajaran yang inklusif dan berkeadilan [15]. Oleh sebab itu, teknologi digital diharapkan mampu mengurangi hambatan dalam proses pembelajaran, bukan justru menciptakan bentuk ketimpangan baru bagi peserta didik.

Teknologi adaptif memiliki peran penting dalam meningkatkan aksesibilitas pendidikan dengan menyediakan pengalaman belajar yang dapat merespons kebutuhan individu peserta didik. Melalui penyampaian konten yang dipersonalisasi, umpan balik adaptif, jalur pembelajaran yang fleksibel, dan rekomendasi berbasis teknologi cerdas, teknologi tersebut memungkinkan peserta didik dengan kemampuan dan latar belakang yang berbeda untuk berpartisipasi secara lebih efektif dalam lingkungan *e-learning*. Berdasarkan perspektif tersebut, penelitian ini mengkaji pengaruh teknologi adaptif terhadap aksesibilitas pendidikan melalui pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi [16]. Pemahaman terhadap hubungan antarvariabel tersebut diharapkan dapat memberikan wawasan bagi pendidik, institusi pendidikan, dan pengembang platform *e-learning* dalam merancang sistem pembelajaran digital yang lebih inklusif dan mampu mendorong pemerataan akses terhadap pendidikan berkualitas, sekaligus mendukung keberagaman karakteristik dan kebutuhan peserta didik.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif untuk menganalisis pengaruh teknologi adaptif (*Adaptive Technologies*) terhadap aksesibilitas pendidikan (*Educational Accessibility*) melalui pengalaman

pembelajaran yang dipersonalisasi (*Personalized Learning Experiences*) dalam lingkungan *e-learning*. Pendekatan kuantitatif dipilih karena mampu mengukur hubungan antarvariabel secara objektif melalui analisis statistik, sehingga hasil penelitian dapat digunakan untuk menguji hipotesis yang telah dirumuskan [17]. Penelitian ini bersifat eksplanatori (*explanatory research*), yaitu bertujuan menjelaskan hubungan sebab-akibat antarvariabel berdasarkan data empiris yang diperoleh dari responden [18]. Desain penelitian tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran empiris mengenai bagaimana penerapan teknologi adaptif dapat membentuk pengalaman pembelajaran yang lebih sesuai dengan karakteristik peserta didik serta bagaimana pengalaman tersebut berkaitan dengan peningkatan aksesibilitas pendidikan dalam lingkungan *e-learning*.

Objek penelitian adalah mahasiswa yang memiliki pengalaman menggunakan platform *e-learning* dalam kegiatan pembelajaran. Pemilihan objek tersebut didasarkan pada kebutuhan penelitian untuk memperoleh responden yang memiliki pengalaman langsung dalam menggunakan lingkungan pembelajaran digital, sehingga mampu memberikan penilaian terhadap penggunaan teknologi adaptif, pengalaman belajar yang dipersonalisasi, dan aksesibilitas pembelajaran. Data penelitian dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner secara daring kepada responden yang memenuhi kriteria penelitian. Penggunaan kuesioner daring memungkinkan data dikumpulkan secara sistematis dari responden yang memiliki pengalaman dalam proses pembelajaran berbasis *e-learning*. Selanjutnya, data yang diperoleh dari responden digunakan sebagai dasar untuk mengukur konstruk penelitian dan menganalisis hubungan antarvariabel yang telah dirumuskan dalam model penelitian.

Selanjutnya, data dianalisis menggunakan metode (SEM) berbasis *Partial Least Squares* (PLS) dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS [19]. Metode SEM-PLS dipilih karena mampu menganalisis hubungan yang kompleks antarvariabel laten yang diukur menggunakan beberapa indikator sekaligus serta sesuai digunakan pada penelitian yang berorientasi pada pengembangan model prediktif. Melalui pendekatan ini, penelitian dapat mengevaluasi hubungan antara *Adaptive Technologies*, *Personalized Learning Experiences*, dan *Educational Accessibility* secara simultan dalam satu model penelitian. Analisis SEM-PLS juga memungkinkan pengujian pengaruh langsung maupun pengaruh tidak langsung, sehingga peran *Personalized Learning Experiences* sebagai variabel mediasi dalam hubungan antara *Adaptive Technologies* dan *Educational Accessibility* dapat dianalisis secara lebih komprehensif. Dengan demikian, penggunaan SEM-PLS diharapkan dapat memberikan bukti empiris mengenai keterkaitan antarvariabel serta mendukung pencapaian tujuan penelitian dalam menjelaskan peran teknologi adaptif terhadap aksesibilitas pendidikan melalui pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Variabel	Kode	Peran Variabel	Deskripsi
<i>Adaptive Technologies</i>	AT	<i>Variabel Independen</i>	Teknologi yang mampu menyesuaikan proses pembelajaran berdasarkan karakteristik dan kebutuhan peserta didik.
<i>Personalized Learning Experiences</i>	PLE	Variabel Mediasi	Pengalaman belajar yang disesuaikan dengan kemampuan, preferensi, dan kebutuhan individu peserta didik.
<i>Educational Accessibility</i>	EA	<i>Variabel Dependen</i>	Tingkat kemudahan peserta didik dalam mengakses dan memperoleh manfaat dari pembelajaran berbasis <i>e-learning</i> .

Tabel 1 menunjukkan operasionalisasi variabel yang digunakan dalam penelitian untuk menganalisis hubungan antara teknologi adaptif, pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi, dan aksesibilitas pendidikan dalam lingkungan *e-learning*. Variabel *Adaptive Technologies* (AT) berperan sebagai variabel independen yang menggambarkan kemampuan teknologi dalam menyesuaikan proses pembelajaran berdasarkan karakteristik dan kebutuhan peserta didik [20]. Variabel *Personalized Learning Experiences* (PLE) berperan sebagai variabel mediasi yang menggambarkan pengalaman belajar yang disesuaikan dengan kemampuan, preferensi, serta kebutuhan individu peserta didik. Sementara itu, *Educational Accessibility* (EA) berperan sebagai variabel dependen yang menunjukkan tingkat kemudahan peserta didik dalam mengakses dan memperoleh manfaat dari pembelajaran berbasis *e-learning*. Ketiga variabel tersebut menjadi dasar dalam penyusunan model penelitian dan selanjutnya digunakan dalam analisis SEM-PLS untuk menguji hubungan antarvariabel secara empiris.

3.2. Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah mahasiswa yang aktif menggunakan platform *e-learning* sebagai media pembelajaran [21]. Teknik pengambilan sampel menggunakan purposive sampling, yaitu pemilihan responden berdasarkan kriteria tertentu agar sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun kriteria responden adalah mahasiswa yang telah menggunakan platform *e-learning* minimal selama satu semester dan memiliki pengalaman mengikuti proses pembelajaran secara daring. Berdasarkan proses penyebaran kuesioner, penelitian ini berhasil memperoleh 334 responden yang memenuhi kriteria dan seluruh data dinyatakan layak untuk dianalisis [22]. Pengumpulan data dilakukan menggunakan kuesioner online yang disusun berdasarkan indikator dari penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan masing-masing variabel penelitian [23]. Seluruh pernyataan diukur menggunakan Skala Likert lima poin, mulai dari 1 (Sangat Tidak Setuju) hingga 5 (Sangat Setuju). Sebelum dilakukan analisis data, seluruh jawaban responden diperiksa terlebih dahulu untuk memastikan kelengkapan dan konsistensi data. Proses ini dilakukan agar tidak terdapat data yang kosong atau tidak sesuai yang dapat memengaruhi hasil analisis, sehingga data yang digunakan mampu memberikan gambaran yang valid mengenai hubungan antarvariabel penelitian [24].

Tabel 2. Skala Pengukuran Likert

Skor	Keterangan
1	Sangat Tidak Setuju
2	Tidak Setuju
3	Netral
4	Setuju
5	Sangat Setuju

Tabel 2 menunjukkan skala pengukuran yang digunakan untuk mengukur tanggapan responden terhadap setiap pernyataan dalam kuesioner penelitian [25]. Penelitian ini menggunakan skala Likert lima poin, dengan skor 1 menunjukkan Sangat Tidak Setuju, skor 2 Tidak Setuju, skor 3 Netral, skor 4 Setuju, dan skor 5 Sangat Setuju. Penggunaan skala lima poin memungkinkan responden memberikan penilaian berdasarkan tingkat persetujuan terhadap setiap pernyataan yang berkaitan dengan variabel penelitian. Skor yang diperoleh selanjutnya digunakan sebagai data kuantitatif dalam proses analisis SEM-PLS untuk mengukur konstruk *Adaptive Technologies*, *Personalized Learning Experiences*, dan *Educational Accessibility* [26].

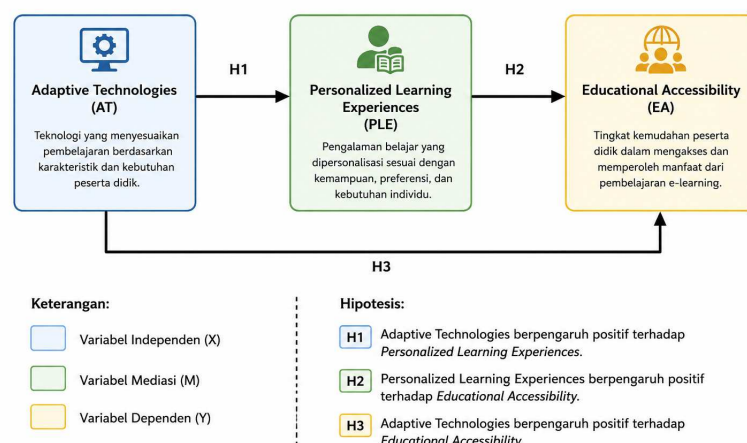
3.3. Instrumen Penelitian

Data yang telah terkumpul dianalisis menggunakan metode Structural Equation Modeling (SEM) berbasis Partial Least Squares (PLS) dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS. Metode SEM-PLS digunakan untuk menguji hubungan antarvariabel laten secara simultan serta menganalisis pengaruh langsung maupun tidak langsung antar konstruk penelitian. Analisis dilakukan dalam dua tahapan utama, yaitu evaluasi model pengukuran (*outer model*) dan evaluasi model struktural (*inner model*) [27]. Evaluasi *outer model* bertujuan untuk memastikan kualitas instrumen penelitian melalui pengujian validitas konvergen, validitas diskriminan, reliabilitas indikator, *Composite Reliability* (CR), *Cronbach's Alpha*, dan *Average Variance Extracted* (AVE). Validitas konvergen digunakan untuk memastikan bahwa indikator mampu merepresentasikan konstruk yang diukur, sedangkan validitas diskriminan digunakan untuk memastikan bahwa setiap konstruk memiliki perbedaan yang memadai dengan konstruk lainnya. Sementara itu, CR dan *Cronbach's Alpha* digunakan untuk menilai konsistensi internal instrumen, sedangkan AVE digunakan untuk mengetahui kemampuan konstruk dalam menjelaskan varians indikator yang digunakan. Dengan demikian, evaluasi *outer model* dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh indikator penelitian mampu mengukur konstruk secara valid dan reliabel sebelum dilakukan pengujian hubungan struktural.

Selanjutnya, evaluasi *inner model* dilakukan untuk menguji hubungan antarvariabel yang telah dirumuskan dalam hipotesis penelitian. Pengujian model struktural dilakukan dengan menganalisis nilai *Path Coefficient*, R-Square (R^2), *Effect Size* (f^2), *Predictive Relevance* (Q^2), serta *Bootstrapping* guna mengetahui arah, kekuatan, kemampuan prediktif, dan tingkat signifikansi hubungan antarvariabel [28]. Nilai *Path Coefficient* digunakan untuk mengetahui arah dan besarnya pengaruh antar konstruk, sedangkan R^2 digunakan untuk melihat kemampuan variabel independen dalam menjelaskan variabel endogen. Selanjutnya, nilai f^2 digunakan untuk mengetahui besarnya kontribusi suatu variabel terhadap konstruk endogen, sementara Q^2 digunakan untuk mengevaluasi kemampuan prediktif model. Prosedur *Bootstrapping* digunakan untuk memperoleh nilai

statistik pengujian yang menjadi dasar dalam menentukan signifikansi hubungan antarvariabel. Tahapan ini digunakan untuk menguji pengaruh *Adaptive Technologies* terhadap *Personalized Learning Experiences*, pengaruh *Personalized Learning Experiences* terhadap *Educational Accessibility*, serta pengaruh langsung *Adaptive Technologies* terhadap *Educational Accessibility*.

Selain pengaruh langsung, penelitian ini juga menganalisis pengaruh tidak langsung dengan menempatkan *Personalized Learning Experiences* sebagai variabel mediasi. Analisis tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi dapat menjelaskan mekanisme hubungan antara *Adaptive Technologies* dan *Educational Accessibility*. Dengan demikian, penelitian tidak hanya mengukur kemampuan teknologi adaptif dalam meningkatkan aksesibilitas pendidikan secara langsung, tetapi juga mengidentifikasi kontribusi pengalaman belajar yang disesuaikan dengan kebutuhan, kemampuan, dan preferensi peserta didik dalam meningkatkan akses terhadap pembelajaran berbasis *e-learning*. Pendekatan ini memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai keterkaitan antara teknologi adaptif, personalisasi pembelajaran, dan aksesibilitas pendidikan [29]. Hasil keseluruhan analisis SEM-PLS selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk memperoleh bukti empiris mengenai hubungan antarvariabel penelitian serta untuk menjelaskan peran teknologi adaptif dalam menciptakan lingkungan *e-learning* yang lebih fleksibel, personal, inklusif, dan mampu mengakomodasi keberagaman karakteristik peserta didik.



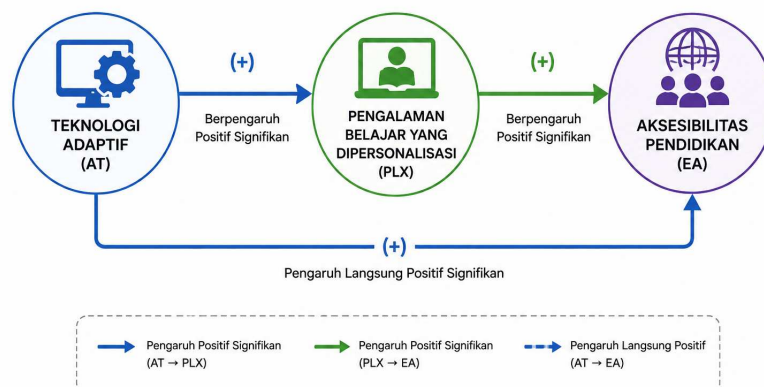
Gambar 3.1 Kerangka Penelitian

Gambar 2. Kerangka Penelitian

Gambar 2 menunjukkan kerangka penelitian yang menggambarkan hubungan antara *Adaptive Technologies*, *Personalized Learning Experiences*, dan *Educational Accessibility*. *Adaptive Technologies* berperan sebagai variabel independen yang memengaruhi *Personalized Learning Experiences* sebagai variabel mediasi, serta *Educational Accessibility* sebagai variabel dependen. Kerangka ini juga menunjukkan adanya pengaruh langsung *Adaptive Technologies* terhadap *Educational Accessibility*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis data dilakukan terhadap 334 responden yang telah memenuhi kriteria penelitian, yaitu mahasiswa yang memiliki pengalaman menggunakan platform *e-learning* dalam proses pembelajaran [30]. Seluruh data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode (SEM) berbasis (PLS) dengan bantuan perangkat lunak SmartPLS. Tahap pertama analisis difokuskan pada evaluasi model pengukuran (*outer model*), yang meliputi pengujian validitas konvergen, validitas diskriminan, reliabilitas indikator, (CR), *Cronbach's Alpha*, serta (AVE). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh indikator memiliki nilai factor loading di atas batas minimum yang direkomendasikan, sedangkan nilai *Composite Reliability* dan *Cronbach's Alpha* berada di atas 0,70. Selain itu, seluruh konstruk memiliki nilai (AVE) melebihi 0,50, sehingga dapat disimpulkan bahwa instrumen penelitian memenuhi kriteria validitas dan reliabilitas untuk digunakan dalam analisis lebih lanjut [31].



Gambar 3. Ringkasan Hasil Hubungan Antarvariabel Penelitian

Tahap berikutnya adalah evaluasi model struktural (*inner model*) untuk menguji hubungan antarvariabel yang telah dirumuskan dalam hipotesis penelitian. Hasil analisis menunjukkan bahwa *Adaptive Technologies* memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap *Personalized Learning Experiences*, mengindikasikan bahwa pemanfaatan teknologi adaptif mampu menciptakan pengalaman belajar yang lebih sesuai dengan karakteristik, kebutuhan, dan preferensi setiap peserta didik [32]. Ringkasan hubungan antarvariabel dan arah pengaruh dalam model penelitian disajikan pada Gambar 3. Sistem pembelajaran yang mampu menyesuaikan materi, memberikan rekomendasi pembelajaran, serta menyediakan umpan balik personal terbukti meningkatkan kualitas pengalaman belajar mahasiswa dalam lingkungan *e-learning*. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi adaptif menjadi salah satu faktor penting dalam menciptakan pembelajaran digital yang lebih efektif dan berpusat pada peserta didik [33].

Tabel 3. Ringkasan Hasil Pengujian Hubungan Antarvariabel

Hipotesis	Hubungan Antarvariabel	Arah	Signifikansi	Hasil
H1	AT → PLE	Positif	Signifikan	Didukung
H2	PLE → EA	Positif	Signifikan	Didukung
H3	AT → EA	Positif	Signifikan	Didukung

Selanjutnya, hasil penelitian menunjukkan bahwa *Personalized Learning Experiences* berpengaruh positif dan signifikan terhadap *Educational Accessibility* [34]. Pengalaman belajar yang dipersonalisasi memungkinkan peserta didik memperoleh materi yang lebih relevan dengan kemampuan masing-masing sehingga memudahkan proses akses dan pemahaman informasi [35]. Sejalan dengan Tabel 3, hubungan tersebut mendukung H2. Selain itu, *Adaptive Technologies* juga berpengaruh langsung secara positif dan signifikan terhadap *Educational Accessibility* [36]. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi adaptif dapat mengurangi hambatan dalam pembelajaran digital dan mendukung peserta didik dengan karakteristik yang beragam [37]. Hasil ini juga mendukung H3 sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Secara keseluruhan, hasil penelitian membuktikan bahwa model konseptual yang diusulkan mampu menjelaskan hubungan antara teknologi adaptif, pengalaman belajar yang dipersonalisasi, dan aksesibilitas pendidikan dalam lingkungan *e-learning*. Penggunaan metode SEM-PLS menunjukkan bahwa seluruh hubungan antarvariabel yang diuji memiliki arah pengaruh positif sesuai dengan hipotesis penelitian [38]. Dengan demikian, tujuan penelitian untuk menganalisis pengaruh teknologi adaptif terhadap aksesibilitas pendidikan melalui pengalaman belajar yang dipersonalisasi telah berhasil dicapai [39]. Temuan ini memberikan implikasi bahwa institusi pendidikan, pengembang platform *e-learning*, dan pemangku kepentingan di bidang pendidikan perlu mengintegrasikan fitur-fitur adaptif, seperti personalisasi materi pembelajaran, rekomendasi cerdas, dan umpan balik otomatis, guna menciptakan sistem pembelajaran digital yang lebih inklusif, efektif, dan mampu memenuhi kebutuhan belajar peserta didik yang semakin beragam [40].

5. IMPLIKASI MANAJERIAL

Hasil penelitian memberikan implikasi manajerial yang penting bagi institusi pendidikan dalam merancang strategi transformasi pembelajaran digital. Temuan bahwa *Adaptive Technologies* berpengaruh positif terhadap *Personalized Learning Experiences* dan *Educational Accessibility* menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi adaptif perlu menjadi bagian dari pengembangan sistem pembelajaran yang berorientasi pada kebutuhan peserta didik. Institusi pendidikan dapat mengintegrasikan fitur seperti rekomendasi materi berbasis kecerdasan buatan, jalur pembelajaran yang fleksibel, umpan balik secara real-time, serta evaluasi yang disesuaikan dengan kemampuan dan perkembangan peserta didik. Penerapan strategi tersebut tidak hanya mendukung proses pembelajaran yang lebih personal, tetapi juga membantu menciptakan lingkungan belajar yang mampu mengakomodasi perbedaan karakteristik, kemampuan, dan preferensi belajar peserta didik [41].

Selain itu, pengembang platform *e-learning* perlu memastikan bahwa teknologi adaptif didukung oleh desain sistem yang mudah digunakan, responsif, dan mampu mengolah data aktivitas peserta didik secara efektif untuk menghasilkan rekomendasi pembelajaran yang relevan. Dari sisi pengelolaan pendidikan, pengambil kebijakan juga perlu memberikan dukungan melalui penyediaan infrastruktur digital, peningkatan kompetensi dan literasi digital pendidik, serta penyusunan kebijakan yang mendorong penerapan teknologi pembelajaran secara bertanggung jawab. Kolaborasi antara institusi pendidikan, pengembang teknologi, dan pemangku kebijakan menjadi penting agar penerapan teknologi adaptif tidak hanya berfokus pada aspek teknologi, tetapi juga pada peningkatan kualitas pembelajaran dan pemerataan akses pendidikan. Dengan pengelolaan yang tepat, teknologi adaptif dapat menjadi instrumen strategis untuk membangun ekosistem pembelajaran digital yang lebih efektif, personal, inklusif, dan berkelanjutan.

6. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh *Adaptive Technologies* terhadap *Educational Accessibility* melalui *Personalized Learning Experiences* dalam lingkungan *e-learning*. Berdasarkan hasil analisis data yang dilakukan menggunakan metode Structural Equation Modeling berbasis Partial Least Squares (SEM-PLS) terhadap data yang diperoleh dari 334 responden, penelitian ini menunjukkan bahwa teknologi adaptif memiliki pengaruh positif dan signifikan terhadap pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi. Pemanfaatan teknologi adaptif memungkinkan sistem *e-learning* menyesuaikan materi pembelajaran, memberikan rekomendasi belajar yang relevan, serta menyediakan umpan balik yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan masing-masing peserta didik. Kondisi tersebut menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif, meningkatkan keterlibatan peserta didik, serta mendukung proses pembelajaran yang lebih berpusat pada individu dibandingkan dengan pendekatan pembelajaran digital yang bersifat seragam.

Selain itu, hasil penelitian membuktikan bahwa *Personalized Learning Experiences* memberikan pengaruh positif terhadap *Educational Accessibility*, yang menunjukkan bahwa pengalaman belajar yang disesuaikan dengan kebutuhan individu mampu meningkatkan kesempatan peserta didik untuk mengakses dan memanfaatkan layanan pembelajaran digital secara lebih optimal. Penelitian ini juga menemukan bahwa *Adaptive Technologies* memiliki pengaruh langsung terhadap *Educational Accessibility*, sehingga menunjukkan bahwa penerapan teknologi adaptif tidak hanya meningkatkan kualitas pengalaman belajar, tetapi juga mampu mengurangi berbagai hambatan dalam proses pembelajaran digital. Dengan demikian, hubungan antara ketiga variabel yang diuji dalam penelitian ini mendukung model konseptual yang telah dikembangkan dan memperkuat bukti empiris bahwa integrasi teknologi adaptif merupakan salah satu faktor penting dalam menciptakan lingkungan *e-learning* yang lebih inklusif, fleksibel, dan mampu mengakomodasi keberagaman karakteristik peserta didik.

Secara keseluruhan, penelitian ini memberikan kontribusi baik secara teoritis maupun praktis terhadap pengembangan pembelajaran digital. Dari sisi teoritis, penelitian ini memperkaya literatur mengenai hubungan antara teknologi adaptif, pengalaman pembelajaran yang dipersonalisasi, dan aksesibilitas pendidikan dalam konteks *e-learning*. Dari sisi praktis, hasil penelitian dapat menjadi acuan bagi institusi pendidikan, pengembang platform *e-learning*, dan pembuat kebijakan dalam merancang sistem pembelajaran digital yang lebih adaptif, inklusif, dan berorientasi pada kebutuhan peserta didik. Meskipun demikian, penelitian ini masih memiliki keterbatasan karena melibatkan responden yang berasal dari kelompok pengguna *e-learning* tertentu dan menggunakan pendekatan kuantitatif. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan responden, membandingkan berbagai platform *e-learning*, serta menambahkan variabel lain, seperti *digital literacy*, *learning engagement*, *technology readiness*, atau *user satisfaction*, sehingga memberikan pemahaman tentang faktor keberhasilan teknologi adaptif dalam pendidikan digital.

7. DEKLARASI

7.1. Tentang Penulis

Erika (ER)  <https://orcid.org/0000-0002-2696-3839>

Arthur Simanjuntak (AS)  <https://orcid.org/0000-0003-2881-1158>

Ika Yuni Purnama (IY)  <https://orcid.org/0009-0005-5065-8462>

Asher Nuche (AN)  <https://orcid.org/0009-0001-1431-2270>

7.2. Kontribusi Penulis

Konseptualisasi: ER; Metodologi: IY; Perangkat Lunak: AN; Validasi: AS dan ER; Analisis Formal: AN dan IY; Investigasi: AS; Sumber daya: ER; Kurasi Data: IY; Penulisan Draf Awal: AN dan AS; Peninjauan dan Penyuntingan Tulisan: ER dan AS; Visualisasi: IY; Semua penulis, ER, AS, IY, dan AN, telah membaca dan menyetujui naskah yang telah diterbitkan.

7.3. Pernyataan Ketersediaan Data

Data yang digunakan dan disajikan dalam penelitian ini dapat diperoleh dari penulis yang bersangkutan berdasarkan permintaan yang wajar.

7.4. Dana

Para penulis menyatakan bahwa penelitian, penulisan, dan publikasi artikel ini tidak memperoleh dukungan pendanaan dari pihak mana pun.

7.5. Pernyataan Kepentingan Bersaing

Para penulis menyatakan bahwa tidak terdapat konflik kepentingan finansial maupun hubungan pribadi yang berpotensi memengaruhi pelaksanaan dan hasil penelitian yang dilaporkan dalam artikel ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Gevorgyan, "The use of adaptive learning technologies in e-learning for inclusive education: A systematic review," *E-Learning Innovations Journal*, vol. 2, no. 1, pp. 90–107, 2024.
- [2] W. Usino, M. M. Sari, F. P. Oganda, O. P. M. Daeli, and E. Smith, "Artificial intelligence integration for sustainable business model innovation insights from global startups," *Sundara Advanced Research on Artificial Intelligence*, vol. 1, no. 2, pp. 82–89, 2025.
- [3] E. Dritsas and M. Trigka, "Methodological and technological advancements in e-learning," *Information*, vol. 16, no. 1, p. 56, 2025.
- [4] R. Isaeva, N. Karasartova, K. Dzunusnalieva, K. Mirzoeva, and M. Mokliuk, "Enhancing learning effectiveness through adaptive learning platforms and emerging computer technologies in education," *Jurnal Ilmiah Ilmu Terapan Universitas Jambi*, vol. 9, no. 1, pp. 144–160, 2025.
- [5] A. Aprillia, A. Theriana, S. Syaifuddin, F. Amelia, and R. S. Ikhsan, "Development of blockchain based system for secure student data management," *Blockchain Frontier Technology*, vol. 5, no. 2, pp. 147–157, 2026.
- [6] I. Gligorea, M. Cioca, R. Oancea, A.-T. Gorski, H. Gorski, and P. Tudorache, "Adaptive learning using artificial intelligence in e-learning: A literature review," *Education Sciences*, vol. 13, no. 12, p. 1216, 2023.
- [7] I. Rizvi, C. Bose, and N. Tripathi, "Transforming education: adaptive learning, ai, and online platforms for personalization," in *Technology for societal transformation: Exploring the intersection of information technology and societal development*. Springer, 2025, pp. 45–62.
- [8] S. Suryanto, A. A. A. Zawawi, and M. Morales, "Optimalisasi media sosial sebagai sarana peningkatan keterlibatan sosial umat islam: Optimizing social media as a means of increasing social involvement of muslims," *Alfabet Jurnal Wawasan Agama Risalah Islamiah, Teknologi dan Sosial*, vol. 2, no. 1, pp. 97–106, 2025.
- [9] F. Benkhalfallah, M. R. Laouar, M. S. Benkhalfallah *et al.*, "Examining adaptive e-learning approaches to enhance learning and individual experiences," *Acta Informatica Pragensia*, vol. 13, no. 2, pp. 327–339, 2024.

- [10] C. Halkiopoulos and E. Gkintoni, "Leveraging ai in e-learning: Personalized learning and adaptive assessment through cognitive neuropsychology—a systematic analysis," *Electronics*, vol. 13, no. 18, p. 3762, 2024.
 - [11] A. Faturahman, N. S. Lubis, N. P. L. Santoso, A. Adiwijaya, M. Madisson *et al.*, "Impact of blockchain enhanced digital marketing on brand awareness of solar panels," *Blockchain Frontier Technology*, vol. 5, no. 1, pp. 1–12, 2025.
 - [12] Hariyanto, F. X. D. Kristianingsih, and R. Maharani, "Artificial intelligence in adaptive education: a systematic review of techniques for personalized learning," *Discover Education*, vol. 4, no. 1, p. 458, 2025.
 - [13] K. Abhirami and M. Devi, "Student behavior modeling for an e-learning system offering personalized learning experiences," *Computer Systems Science & Engineering*, vol. 40, no. 3, 2022.
 - [14] L. H. Aziz, R. A. Sunarjo, M. Ramdani, Q. Aini, E. A. Natalia, and L. Maria, "Implementatation of rop in stock control to minimize losses due to expiry," *ADI Bisnis Digital Interdisiplin Jurnal*, vol. 6, no. 2, pp. 220–232, 2025.
 - [15] A. Brada and F. Dahmani, "Artificial intelligence technologies and their significance in enhancing the quality of adaptive e-learning," *Journal of Science and Knowledge Horizons*, vol. 4, no. 02, pp. 30–47, 2024.
 - [16] E. Du Plooy, D. Casteleijn, and D. Franzsen, "Personalized adaptive learning in higher education: A scoping review of key characteristics and impact on academic performance and engagement," *Heliyon*, vol. 10, no. 21, 2024.
 - [17] F. Sarshartehrani, E. Mohammadrezaei, M. Behravan, and D. Gracanin, "Enhancing e-learning experience through embodied ai tutors in immersive virtual environments: A multifaceted approach for personalized educational adaptation," in *International Conference on Human-Computer Interaction*. Springer, 2024, pp. 272–287.
 - [18] E. Setiawati, J. Edwards, M. M. Siahaan *et al.*, "Increasing accessibility and personalization in distance learning through adaptive e-learning technology," *Jurnal MENTARI: Manajemen, Pendidikan dan Teknologi Informasi*, vol. 4, no. 1, pp. 20–29, 2025.
 - [19] H. Er-Radi, S. Aammou, and A. Jdidou, "Personalized learning through adaptive content modification: Exploring the impact of content difficulty adjustment on learner performance," *Conhecimento & Diversidade*, vol. 15, no. 39, pp. 263–275, 2023.
 - [20] L. Kupchyk and A. Litvinchuk, "Constructing personal learning environments through ict-mediated foreign language instruction," in *Journal of physics: Conference series*, vol. 1840, no. 1. IOP Publishing, 2021, p. 012045.
 - [21] U. Rahardja, T. Hongsuchon, T. Hariguna, and A. Ruangkanjanases, "Understanding impact sustainable intention of s-commerce activities: The role of customer experiences, perceived value, and mediation of relationship quality," *Sustainability*, vol. 13, no. 20, p. 11492, 2021.
 - [22] A. Kumar, S. Srivastava, and S. Jaiswal, "Transforming e-learning with adaptive technologies to improve personalized learning," in *2024 International Conference on IoT, Communication and Automation Technology (ICICAT)*. IEEE, 2024, pp. 58–62.
 - [23] F. Amastini, D. K. S. Sekarhati, and M. Puspitasari, "Advancing adaptive and personalized e-learning systems: A systematic literature review," *Advance Sustainable Science Engineering and Technology*, vol. 7, no. 2, pp. 0 250 209–0 250 209, 2025.
 - [24] W. Zheng, "Intelligent e-learning design for art courses based on adaptive learning algorithms and artificial intelligence," *Entertainment Computing*, vol. 50, p. 100713, 2024.
 - [25] Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi PKPLK Kemendikdasmen, "Lebih adaptif, ditsuslat dorong pemanfaatan teknologi digital dan ai untuk kursus daring," Direktorat Jenderal Pendidikan Vokasi, Pendidikan Khusus, dan Pendidikan Layanan Khusus, Kemendikdasmen, Jul. 2025, published 3 July 2025. [Online]. Available: <https://vokasi.kemendikdasmen.go.id/read/b/lebih-adaptif-ditsuslat-dorong-pemanfaatan-teknologi-digital-dan-ai-untuk-kursus-daring>
 - [26] M. Fahrurrozi, S. R. Djalilah, D. Yunitasari, M. Mohzana, and H. S. Butt, "Development of technopreneurship based e-modules on entrepreneurial learning," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 8, no. 3, pp. 795–808, 2026.
 - [27] H. Rahma *et al.*, "Personalized learning experiences exploring adaptive e-learning systems for different learning styles," *Journal of Blended and Technical Education*, vol. 1, no. 1, pp. 72–86, 2024.
-

- [28] S. G. Essa, T. Celik, and N. E. Human-Hendricks, "Personalized adaptive learning technologies based on machine learning techniques to identify learning styles: A systematic literature review," *Ieee Access*, vol. 11, pp. 48 392–48 409, 2023.
- [29] N. S. Raj and V. Renumol, "A systematic literature review on adaptive content recommenders in personalized learning environments from 2015 to 2020," *Journal of computers in education*, vol. 9, no. 1, pp. 113–148, 2022.
- [30] M. Iqbal, S. Sarwar, M. Safyan, and M. Nasralla, "Personalized and adaptive e-learning systems for semantic web: A systematic review and roadmap," *International Journal of Web Information Systems*, 2024.
- [31] D. Kem, "Personalised and adaptive learning: Emerging learning platforms in the era of digital and smart learning," *International Journal of Social Science and Human Research*, vol. 5, no. 2, pp. 385–391, 2022.
- [32] A. Christodoulou and C. Angeli, "Adaptive learning techniques for a personalized educational software in developing teachers' technological pedagogical content knowledge," in *Frontiers in Education*, vol. 7. Frontiers Media SA, 2022, p. 789397.
- [33] S. Amin, M. I. Uddin, A. A. Alarood, W. K. Mashwani, A. Alzahrani, and A. O. Alzahrani, "Smart e-learning framework for personalized adaptive learning and sequential path recommendations using reinforcement learning," *IEEe Access*, vol. 11, pp. 89 769–89 790, 2023.
- [34] C. Wolf, "Construction of an adaptive e-learning environment to address learning styles and an investigation of the effect of media choice," Ph.D. dissertation, RMIT University, 2024.
- [35] C. Lukita, A. K. Chandra, R. Fahrudin, N. M. Agatha, and D. P. Suci, "Maturity level measurement model of msmes for sustainable economic growth," *Aptisi Transactions on Technopreneurship (ATT)*, vol. 8, no. 2, pp. 434–442, 2026.
- [36] O. O. Ayeni, N. M. Al Hamad, O. N. Chisom, B. Osawaru, and O. E. Adewusi, "Ai in education: A review of personalized learning and educational technology," *GSC Advanced Research and Reviews*, vol. 18, no. 2, pp. 261–271, 2024.
- [37] N. Hocine and K. Sehaba, "A systematic review of online personalized systems for the autonomous learning of people with cognitive disabilities," *Human–Computer Interaction*, vol. 39, no. 3-4, pp. 174–205, 2024.
- [38] V. Sumathy and G. Navamani, "Ai-driven personalized learning: Enhancing student success through adaptive technologies," *Library of Progress-Library Science, Information Technology & Computer*, vol. 44, no. 3, 2024.
- [39] U. Rahardja, C. T. Sigalingging, P. O. H. Putra, A. Nizar Hidayanto, and K. Phusavat, "The impact of mobile payment application design and performance attributes on consumer emotions and continuance intention," *Sage Open*, vol. 13, no. 1, p. 21582440231151919, 2023.
- [40] M. Murtaza, Y. Ahmed, J. A. Shamsi, F. Sherwani, and M. Usman, "Ai-based personalized e-learning systems: Issues, challenges, and solutions," *IEEE access*, vol. 10, pp. 81 323–81 342, 2022.
- [41] F. Abbes, S. Bennani, and A. Maalel, "Generative ai and gamification for personalized learning: Literature review and future challenges," *SN Computer Science*, vol. 5, no. 8, p. 1154, 2024.