
PENGARUH GAMIFIKASI PEMBELAJARAN DAN AI-POWERED LEARNING TOOLS TERHADAP HASIL BELAJAR KONTEMPORER MELALUI STUDENT ENGAGEMENT

Sugeng Riyanto

STEBIS Bina Mandiri, Jawa Barat, Indonesia

sugeng@binamandiri.ac.id

Abstrak

Integrasi teknologi dalam pendidikan vokasi sering kali dianggap sebagai solusi instan untuk mendongkrak prestasi, namun mekanika psikologis di balik adopsi tersebut jarang didekonstruksi secara kritis. Penelitian ini bertujuan untuk menguji dan menganalisis pengaruh AI-Powered Learning Tools dan Gamifikasi Pembelajaran terhadap Hasil Belajar Kontemporer, dengan menempatkan Student Engagement sebagai variabel mediasi. Pendekatan kuantitatif dengan pemodelan Partial Least Squares-Structural Equation Modeling (PLS-SEM) melalui SmartPLS 3 diterapkan pada sampel siswa di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor. Hasil evaluasi model pengukuran (outer model) pasca-modifikasi menunjukkan seluruh indikator valid secara konvergen, reliabel, dan diskriminan berdasarkan kriteria Heterotrait-Monotrait Ratio (HTMT < 0,85). Hasil pengujian model struktural (inner model) membuktikan bahwa AI-Powered Learning Tools memiliki peran paling dominan dalam memicu Student Engagement ($R^2 = 0,774$) dan Hasil Belajar Kontemporer ($R^2 = 0,702$). Temuan kritis penelitian ini mengungkap adanya gejala *suppressor effect*, di mana Gamifikasi Pembelajaran berpengaruh positif kuat terhadap Student Engagement (0,448), namun memiliki dampak langsung yang negatif-signifikan terhadap Hasil Belajar Kontemporer (-0,242). Fenomena ini mengindikasikan risiko distraksi digital jika elemen permainan dipaksakan tanpa pengelolaan orientasi belajar. Kehadiran Student Engagement terbukti bertindak sebagai mediator paripurna (*full mediation*) yang sukses mereduksi efek negatif tersebut menjadi luaran kompetensi abad ke-21 yang positif kuat. Penelitian ini merekomendasikan formula orkestrasi teknologi yang seimbang bagi sekolah kejuruan kreatif: mengoptimalkan AI untuk personalisasi materi adaptif dan menempatkan gamifikasi secara bijak sebagai stimulus emosional demi membangun keterikatan belajar yang murni.

Kata Kunci: AI-Powered Learning Tools, Gamifikasi Pembelajaran, Hasil Belajar Kontemporer, Student Engagement, Suppressor Effect.

Abstract

The integration of technology in vocational education is often viewed as an instant solution to boost achievement, yet the psychological mechanics behind its adoption are rarely critically deconstructed. This study aims to examine and analyze the influence of AI-Powered Learning Tools and Digital Gamification on Contemporary Learning Outcomes, positioning Student Engagement as a mediating variable. A quantitative approach utilizing Partial Least Squares-Structural Equation Modeling (PLS-SEM) via SmartPLS 3 was applied to a sample of students at SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor. The evaluation of the post-modification measurement model (outer model) confirmed that all indicators were convergently valid, reliable, and discriminantly distinct according to the Heterotrait-Monotrait Ratio criteria

(HTMT < 0.85). The structural model (inner model) analysis demonstrated that AI-Powered Learning Tools play the most dominant role in driving Student Engagement ($R^2 = 0.774$) and Contemporary Learning Outcomes ($R^2 = 0.702$). Crucially, the study uncovered a suppressor effect, wherein Gamification positively influenced Student Engagement (0.448) but exerted a significant negative direct effect on Contemporary Learning Outcomes (-0.242). This phenomenon highlights the risk of digital distraction if game mechanics are forced without proper learning orientation management. Student Engagement proved to act as a full mediator, successfully transforming the negative direct effect into robustly positive 21st-century competence outcomes. This study recommends a balanced technological orchestration formula for creative vocational schools: optimizing AI for adaptive personalized content while wisely positioning gamification as an emotional stimulus to cultivate authentic cognitive engagement.

Keywords: AI-Powered Learning Tools, Contemporary Learning Outcomes, Gamification, Student Engagement, Suppressor Effect

PENDAHULUAN

Transformasi lanskap pendidikan global di era pasca-pandemi telah memaksa institusi pendidikan untuk mengadopsi ekosistem smart education yang mengintegrasikan teknologi digital secara holistik dalam proses pembelajaran. Pendidikan modern saat ini tidak lagi sekadar memindahkan materi cetak ke ruang digital, melainkan menuntut restrukturisasi strategi pedagogi yang mampu mengakomodasi karakteristik generasi digital native (Kosedo et al., 2024)(Raprap et al., 2025) . Tantangan utama dalam skala global adalah penurunan keterikatan siswa (student engagement) akibat kejenuhan digital (digital fatigue) dan metode pengajaran konvensional yang gagal bersaing dengan stimulasi instan dari media sosial. Akibatnya, pencapaian hasil belajar kontemporer yang tidak hanya mengukur aspek kognitif nilai ujian, tetapi juga kompetensi abad ke-21 seperti critical thinking, kreativitas, dan literasi data menjadi sulit dicapai secara optimal jika tidak didukung oleh lingkungan makro pendidikan yang adaptif dan berbasis teknologi terapan (Haleem et al., 2022) (Firdaus, 2025).

Di konteks nasional, Indonesia masih menghadapi kesenjangan yang signifikan antara visi digitalisasi pendidikan yang dicanangkan pemerintah melalui kebijakan Merdeka Belajar dengan realitas kesiapan di lapangan. Berbagai studi menunjukkan bahwa pemanfaatan teknologi di mayoritas sekolah di Indonesia masih berada pada level substitusi, belum mencapai tahap redefinisi atau transformasi fungsional (Aeni et al., 2025) (Wijaya et al., 2025). Rendahnya keterlibatan aktif siswa dalam pembelajaran daring maupun hibrida memicu fenomena learning loss yang berdampak langsung pada merosotnya mutu lulusan nasional (Aldhafeeri & Alotaibi, 2022)(Hakim, 2023). Masalah ini diperparah oleh fakta bahwa kurikulum pendidikan kejuruan sering kali terlambat mengantisipasi cepatnya disrupsi digital di dunia kerja, sehingga lulusannya dinilai kurang kompetitif dan gagap dalam mengoperasikan ekosistem kerja berbasis teknologi modern modern (Jaya et al., 2025)(Zainuddin et al., 2025).

Secara khusus, tantangan ini terlihat nyata pada SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor. Sebagai sekolah kejuruan yang berlokasi di wilayah penyangga ibu kota (Bogor) dengan spesialisasi rumpun teknologi dan multimedia, sekolah ini secara teoritis dituntut memiliki standar digitalisasi yang melampaui SMK non-multimedia.

Keunikan SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor terletak pada posisi strategisnya yang memiliki fasilitas laboratorium komputer dan perangkat multimedia yang sangat memadai, namun menghadapi anomali berupa fluktuasi student engagement yang kontradiktif; ketersediaan gawai dan akses internet justru sering kali menjadi distraksi utama siswa di kelas ketimbang menjadi media akselerasi akademik. Karakteristik siswanya yang didominasi oleh praktisi multimedia pemula membuat mereka sangat kritis terhadap visual dan interaksi, sehingga metode ceramah atau penggunaan Learning Management System (LMS) yang bersifat statis memicu kebosanan masif yang berujung pada rendahnya capaian portofolio hasil belajar kontemporer mereka.

Guna mengatasi persoalan tersebut, intervensi pedagogis berbasis strategi gamifikasi pembelajaran (*gamified learning*) dan pemanfaatan *AI-powered learning tools* diidentifikasi sebagai solusi krusial yang perlu diintegrasikan. Gamifikasi menawarkan restrukturisasi psikologis melalui elemen permainan seperti poin, papan peringkat, dan tantangan yang mampu mengonversi motivasi ekstrinsik siswa menjadi intrinsik (Xu et al., 2021)(Luarn et al., 2023). Sementara itu, *AI-powered learning tools* (seperti platform adaptif berbasis AI, generator konten otomatis, dan asisten virtual) memberikan intervensi berupa personalisasi pembelajaran sesuai dengan kecepatan belajar masing-masing siswa (*personalized learning pathways*) (Zawacki-Richter et al., 2024) (Abrar et al., 2025). Kombinasi kedua instrumen ini diharapkan dapat menciptakan lingkungan belajar yang dinamis, interaktif, dan relevan dengan kompetensi multimedia yang menjadi keunggulan komparatif dari SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor.

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa pengaruh gamifikasi terhadap hasil belajar telah banyak diteliti dan terbukti positif dalam meningkatkan motivasi jangka pendek (Mudiana et al., 2022)(Listiyani & Muhammad, 2023). Di sisi lain, riset mengenai implementasi kecerdasan buatan (AI) dalam pendidikan juga mengalami lonjakan signifikan dalam tiga tahun terakhir, dengan fokus pada efisiensi penilaian otomatis dan personalisasi konten (Chassignol et al., 2022; Ouyang & Chang, 2024). Begitu pula dengan variabel student engagement yang telah mapan diposisikan sebagai prediktor utama keberhasilan akademik dalam model pembelajaran konvensional maupun e-learning (Chiu, 2022). Sebagian besar literatur ini menegaskan bahwa baik gamifikasi maupun AI memiliki daya jangkauan yang luas dalam mengubah perilaku dan persepsi belajar siswa di berbagai jenjang pendidikan.

Meskipun demikian, terdapat kesenjangan penelitian yang nyata dalam literatur saat ini. Pertama, mayoritas penelitian mengenai integrasi AI dan gamifikasi dilakukan secara terpisah (parsial), dan masih sangat jarang ditemukan model empiris yang mengintegrasikan keduanya secara simultan dalam memprediksi hasil belajar kontemporer. Kedua, mekanisme mediasi student engagement dalam menjembatani pengaruh teknologi AI yang bersifat otomatis dan gamifikasi yang bersifat rekreatif masih menyisakan ruang perdebatan teoritis, terutama pada siswa SMK rumpun multimedia yang memiliki standar ekspektasi digital yang berbeda dari siswa sekolah umum. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menguji dan menganalisis pengaruh gamifikasi pembelajaran dan *AI-powered learning tools* terhadap hasil belajar kontemporer, baik secara langsung maupun tidak langsung melalui student engagement. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan

model struktural yang mensinergikan aspek rekreatif (gamifikasi) dan aspek kognitif-adaptif (AI) dalam satu ekosistem smart education di level pendidikan vokasi multimedia.

Urgensi dari penelitian ini tidak dapat ditunda, mengingat relevansinya terhadap keberlanjutan mutu lulusan SMK di era disrupsi kecerdasan buatan tahun 2026. Kegagalan dalam merumuskan strategi pembelajaran digital yang tepat di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor bukan saja akan menurunkan prestasi akademik internal sekolah, melainkan juga berisiko menghasilkan lulusan multimedia yang tidak terserap oleh industri kreatif akibat ketidakmampuan berkolaborasi dengan ekosistem AI. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi teoretis bagi perkembangan ilmu manajemen pendidikan modern dan metodologi instruksional, serta memberikan kontribusi praktis berupa panduan strategis bagi para pengambil kebijakan di sekolah kejuruan dalam mengoptimalkan investasi teknologi informasi dan komunikasi (TIK) demi mewujudkan *smart education* yang substantif.

Berdasarkan kajian teoritis dan sintesis permasalahan di atas, model konseptual penelitian ini mengasumsikan bahwa intervensi teknologi yang interaktif dan adaptif akan menstimulasi keterikatan siswa secara emosional, kognitif, dan perilaku, yang pada gilirannya mendorong capaian kompetensi mereka. Oleh sebab itu, hipotesis penelitian yang diajukan dalam studi ini adalah sebagai berikut:

H1: Gamifikasi pembelajaran berpengaruh positif dan signifikan terhadap student engagement.

H2: AI-powered learning tools berpengaruh positif dan signifikan terhadap student engagement.

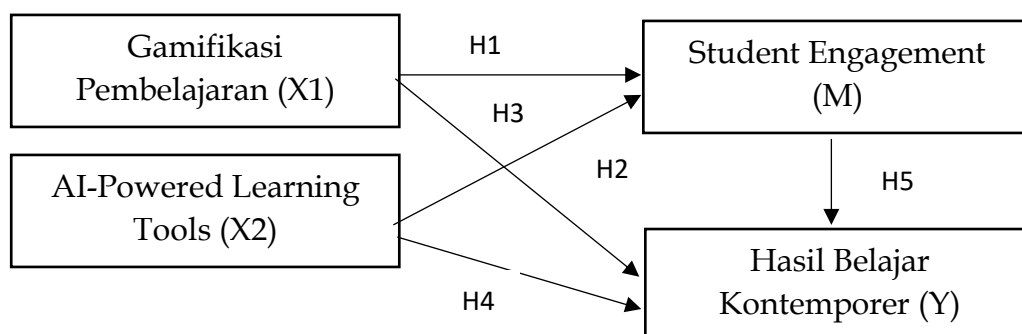
H3: Gamifikasi pembelajaran berpengaruh positif dan signifikan terhadap hasil belajar kontemporer.

H4: AI-powered learning tools berpengaruh positif dan signifikan terhadap hasil belajar kontemporer.

H5: Student engagement berpengaruh positif dan signifikan terhadap hasil belajar kontemporer.

H6: Student engagement secara signifikan memediasi pengaruh gamifikasi pembelajaran terhadap hasil belajar kontemporer.

H7: Student engagement secara signifikan memediasi pengaruh AI-powered learning tools terhadap hasil belajar kontemporer.



Gambar 1. Kerangka Pemikiran

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode asosiatif kausalitas guna menguji dan membuktikan hubungan pengaruh antara variabel independen, mediasi, dan dependen (Hair & Alamer, 2022). Desain penelitian ini dirancang untuk mengevaluasi model struktural ekosistem smart education secara empiris. Lokus penelitian dilaksanakan di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor pada Semester Genap Tahun Ajaran 2025/2026. Fokus pengamatan diarahkan pada siswa kelas 11 dan 12, mengingat kelompok siswa pada jenjang ini telah memiliki paparan yang matang terhadap mata pelajaran produktif multimedia serta memiliki intensitas penggunaan perangkat digital dan interaksi dengan teknologi kecerdasan buatan (AI tools) yang lebih tinggi dibandingkan siswa kelas 10.

Population and Sampling Technique Populasi dalam penelitian ini bersifat finite (terbatas), yaitu seluruh siswa aktif kelas 11 dan 12 di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor yang berjumlah 562 siswa. Mengingat keterbatasan waktu dan sumber daya, serta untuk menjaga efisiensi estimasi, ukuran sampel ditetapkan sebanyak 150 responden. Ukuran sampel ini telah memenuhi syarat kecukupan minimum pemodelan PLS-SEM, di mana aturan praktis (*rule of thumb*) menyatakan bahwa jumlah sampel ideal adalah antara 5 hingga 10 kali jumlah indikator manifes dalam model penelitian, atau minimal 100-200 observasi untuk estimasi yang stabil (Sarstedt et al., 2021).

Teknik penarikan sampel yang digunakan adalah *Disproportionate Stratified Random Sampling*. Populasi terlebih dahulu dikelompokkan berdasarkan strata kelas (Kelas 11 dan Kelas 12) dan konsentrasi keahlian multimedia. Setelah dilakukan stratifikasi, pemilihan individu sampel dilakukan secara acak menggunakan bantuan generator angka acak (*random number generator*) guna memastikan setiap siswa di kelas 11 dan 12 memiliki peluang yang sama untuk terpilih sebagai responden, sehingga meminimalisir risiko bias seleksi.

Untuk menghindari ambiguitas, variabel-variabel dalam penelitian ini didefinisikan secara operasional dan diukur menggunakan skala Likert 1–5 (1 = Sangat Tidak Setuju, 5 = Sangat Setuju) sebagai berikut: Gamifikasi Pembelajaran (X1): Diukur melalui indikator elemen permainan yang diadaptasi dari teori (Schlag et al., 2024), meliputi keberadaan poin (points), papan peringkat (leaderboards), lencana (badges), dan tantangan instruksional (challenges). AI-Powered Learning Tools (X2): Diukur berdasarkan persepsi siswa terhadap pemanfaatan teknologi AI adaptif dalam pembelajaran, meliputi indikator personalisasi materi (personalized feedback), kecepatan akses asisten virtual, akurasi rekomendasi konten, dan interaktivitas platform AI (Zhao, 2024)(Naseer et al., 2026). Student Engagement (M): Diukur melalui tiga dimensi keterikatan berdasarkan teori (Chiu, 2022) dan (Li & Chiu, 2025), yaitu keterikatan perilaku (*behavioral engagement*), keterikatan emosional (emotional engagement), dan keterikatan kognitif (*cognitive engagement*). Hasil Belajar Kontemporer (Y): Diukur bukan melalui nilai kognitif murni (raport), melainkan asesmen diri (self-assessment) siswa terhadap penguasaan kompetensi abad ke-21 pasca-intervensi teknologi, yang meliputi indikator kemampuan berpikir kritis (*critical thinking*), kreativitas digital, kemampuan kolaborasi virtual, dan literasi data multimedia.

Data primer dikumpulkan melalui penyebaran kuesioner terstruktur secara digital menggunakan *Google Form*. Untuk menjaga validitas sosiologis dan tingkat respons (*response rate*), kuesioner disebarikan secara daring dengan asistensi dari wali kelas masing-masing. Sebelum pengumpulan data secara masif, instrumen kuesioner terlebih dahulu diuji keterbacaannya (*pilot test*) kepada 30 siswa di luar sampel untuk memastikan bahwa redaksi kalimat indikator dapat dipahami dengan baik oleh siswa SMK. Data Analysis Technique using SmartPLS 3

Analisis data dalam penelitian ini menggunakan teknik statistik multivariat Variance-based Structural Equation Modeling (VB-SEM) yang dioperasikan melalui perangkat lunak SmartPLS versi 3.2.9. PLS-SEM dipilih karena kemampuannya dalam menguji model jalur (*path analysis*) dengan variabel mediasi secara simultan, tidak mensyaratkan asumsi normalitas data yang ketat (bersifat non-parametric), dan sangat kuat untuk penelitian yang bersifat pengembangan teori atau prediksi (*predictive-oriented*) (Vinzi et al., 2009) (Dirsehan & Henseler, 2023).

Pengujian model dilakukan melalui dua tahap evaluasi yaitu Evaluasi Model Pengukuran (Outer Model) meliputi pengujian Validitas Konvergen: Diukur berdasarkan nilai Outer Loading (harus $> 0,70$) dan Average Variance Extracted (AVE) dengan ambang batas $> 0,50$. Validitas Diskriminan: Diuji menggunakan kriteria Fornell-Larcker Criterion (nilai akar kuadrat AVE suatu konstruk harus lebih tinggi dari korelasinya dengan konstruk lain) dan rasio Heterotrait-Monotrait (HTMT) dengan nilai $< 0,90$. Reliabilitas Konstruk: Diukur menggunakan nilai Cronbach's Alpha dan Composite Reliability (CR) yang keduanya disyaratkan berada di atas angka 0,70 (Hair & Alamer, 2022).

Evaluasi Model Struktural (Inner Model) dan Pengujian Hipotesis: Uji Kelayakan Model: Dinilai berdasarkan nilai Koefisien Determinasi (R^2) untuk melihat persentase varians variabel dependen yang mampu dijelaskan oleh variabel independen, serta nilai Predictive Relevance (Q^2) melalui prosedur Blindfolding. Uji Hipotesis Pengaruh Langsung: Dilakukan dengan melihat nilai Koefisien Jalur (Path Coefficient) dan nilai statistik signifikansi melalui prosedur Bootstrapping dengan subsamples sebanyak 5.000 resampel. Hipotesis diterima jika memiliki nilai t statistic $> 1,96$ dan nilai p-value $< 0,05$ (pada tingkat signifikansi 5%). Uji Pengaruh Mediasi: Efek mediasi dari Student Engagement diuji menggunakan metode Specific Indirect Effects pada SmartPLS 3 untuk menghitung signifikansi koefisien tidak langsung dan menentukan sifat mediasi, apakah bersifat mediasi penuh (*full mediation*), mediasi sebagian (*partial mediation*), atau tidak memediasi sama sekali

HASIL PENELITIAN

1. Evaluasi Model Pengukuran (Outer Model).

a. Outer Loading

Tabel 1. Hasil Uji Outer Loading

AI-Powered Learning (X2)	Tools	Gamifikasi Pembelajaran (X1)	Hasil Belajar Kontemporer (Y)	Student Engagement (M)
AIPL	0.926			

AIPL 3	0.885	
AIPL 4	0.925	
GP 1	0.800	
GP 2	0.830	
GP 3	0.827	
GP 4	0.796	
HBK 1		0.892
HBK 2		0.827
HBK 3		0.731
HBK 4		0.890
SE3		0.732
SE5		0.917
SE6		0.906

Sumber: Hasil Uji SmartPLS 3

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan SmartPLS 3 yang disajikan pada Tabel 1, dilakukan evaluasi terhadap model pengukuran (*outer model*) untuk menilai validitas konvergen (*convergent validity*) dari setiap indikator penyusun variabel. Kriteria pengujian validitas konvergen mensyaratkan nilai outer loading untuk setiap indikator manifes harus berada di atas ambang batas 0,70 guna memastikan bahwa indikator tersebut secara kuat merepresentasikan konstruk laten yang diukurnya (Sarstedt et al., 2021).

Berdasarkan data terbaru tersebut, seluruh indikator manifes yang dipertahankan dalam model kini memiliki nilai outer loading yang secara signifikan berada di atas ambang batas kritis 0,70 (Hair et al., 2022). Restrukturisasi model ini menghasilkan representasi konstruk laten yang jauh lebih kokoh, bersih, dan memenuhi prasyarat ideal validitas konvergen untuk dilanjutkan pada pengujian model struktural makro. Jika ditinjau per konstruk, variabel AI-Powered Learning Tools (X2) mempertahankan konsistensi internalnya yang sangat tinggi dengan nilai outer loading berkisar antara 0,885 hingga 0,926, di mana indikator AIPL 2 (0,926) tetap menjadi refleksi terkuat dari adopsi teknologi kecerdasan buatan bagi siswa. Pada konstruk Gamifikasi Pembelajaran (X1), fluktuasi nilai bergerak secara stabil dari 0,796 hingga 0,830. Menariknya, pasca-pembersihan model, indikator GP 2 (papan peringkat/ leaderboards) naik menjadi reflektor utama dengan nilai 0,830, diikuti oleh GP 3 (lencana digital) sebesar 0,827. Fenomena ini menunjukkan bahwa setelah indikator pengganggu dihilangkan, daya saing sehat melalui visualisasi peringkat menjadi elemen mekanika gamifikasi yang paling dominan dirasakan manfaatnya oleh siswa SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor.

Peningkatan kualitas model yang paling signifikan dan dramatis terlihat pada variabel mediasi Student Engagement (M). Melalui eliminasi taktis terhadap indikator

SE2 dan SE4, konstruk ini sekarang hanya diukur oleh tiga indikator utama (SE3, SE5, dan SE6) dengan nilai outer loading yang melonjak tajam pada rentang 0,732 hingga 0,917. Indikator SE5 (keterikatan kognitif dalam memecahkan kendala teknis rendering) mencatatkan penguatan nilai pemuatan yang masif menjadi 0,917, disusul oleh SE6 (kemampuan regulasi diri dan disiplin belajar mandiri) sebesar 0,906. Peningkatan nilai pemuatan yang mendekati angka sempurna ($>0,90$) pada kedua indikator ini membuktikan secara empiris bahwa instrumen mediasi ini sekarang telah fokus mengukur esensi keterikatan siswa yang murni, mendalam, dan terbebas dari bias elemen rekreatif gamifikasi. Sementara itu, untuk variabel dependen Hasil Belajar Kontemporer (Y), struktur pemuatan indikator terpantau tetap stabil dan tangguh pada kisaran 0,731 hingga 0,892, dengan indikator HBK 1 (kemampuan berpikir kritis) kokoh memimpin di angka 0,892.

b. Evaluasi Konstruk (Reliabilitas dan Validitas Konvergen)

Tabel 2 Hasil Uji Konstruk Realibility

	Cronbach's Alpha	rho_A	Composite Reliability	Average Variance Extracted (AVE)
AI-Powered Learning Tools (X2)	0.899	0.912	0.937	0.832
Gamifikasi Pembelajaran (X1)	0.830	0.836	0.887	0.661
Hasil Belajar Kontemporer (Y)	0.859	0.906	0.903	0.702
Student Engagement (M)	0.817	0.871	0.890	0.732

Sumber: Hasil Olah SmartPLS 3

Tahap evaluasi kelayakan model pengukuran (outer model) dilanjutkan dengan menguji parameter reliabilitas internal dan validitas konvergen pada tingkat variabel laten berdasarkan data model terbaru yang telah dimodifikasi. Merujuk pada hasil estimasi SmartPLS 3 yang terdokumentasi pada Tabel 2, akurasi dan stabilitas instrumen dievaluasi melalui empat metrik utama, yakni Cronbach's Alpha, rho_A, Composite Reliability (CR), dan Average Variance Extracted (AVE). Aturan praktis (*rule of thumb*) dalam statistik multivariat mensyaratkan nilai Cronbach's Alpha, rho_A, dan Composite Reliability harus berada di atas batas ambang minimum 0,70 untuk menyatakan konstruk memiliki konsistensi internal yang reliabel (Hair & Alamer, 2022). Sementara itu, untuk memenuhi aspek validitas konvergen tingkat variabel, nilai AVE diwajibkan melampaui angka parameter 0,50, yang mengindikasikan bahwa konstruk laten sanggup merefleksikan lebih dari separuh varians indikatornya (Dirsehan & Henseler, 2023).

Berdasarkan data empiris hasil uji table 2, pembersihan model terbukti secara signifikan mengoptimalkan performa statistik seluruh variabel. Variabel AI-Powered Learning Tools (X2) mempertahankan konsistensi metriknya yang sangat tinggi dengan nilai Composite Reliability sebesar 0,937, Cronbach's Alpha sebesar 0,899, rho_A sebesar 0,912, serta kemampuan penjelasan validitas konvergen (AVE) yang sangat superior mencapai 0,832. Pada konstruk Gamifikasi Pembelajaran (X1), nilai stabilitas instrumen juga berada pada level aman dan meyakinkan, ditunjukkan oleh nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,830, rho_A sebesar 0,836, Composite Reliability sebesar 0,887, serta nilai AVE sebesar 0,662. Keselarasan nilai rho_A yang berada di antara rentang Cronbach's Alpha dan CR pada kedua variabel independen ini mengonfirmasi keandalan algoritma PLS dalam mengestimasi reliabilitas model tanpa gejala *underestimation* maupun *overestimation* (Henseler, 2017).

Peningkatan performa struktural yang paling krusial ditemukan pada variabel mediasi Student Engagement (M). Pasca-eliminasi indikator yang tidak fit, konstruk ini mencatatkan nilai Composite Reliability sebesar 0,890, Cronbach's Alpha sebesar 0,817, dan rho_A sebesar 0,871. Yang paling impresif, nilai AVE pada variabel mediasi ini mengalami lonjakan masif menjadi 0,732. Lonjakan ini membawa implikasi metodologis yang sangat kuat: sebesar 73,2% varians dari indikator keterikatan siswa yang tersisa kini murni merefleksikan dimensi kognitif dan regulasi diri siswa SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor, terbebas dari bias eror varians indikator lain. Di sisi lain, konstruk Hasil Belajar Kontemporer (Y) juga menunjukkan kekokohan parameter yang konstan dengan nilai Cronbach's Alpha sebesar 0,859, rho_A sebesar 0,906, Composite Reliability sebesar 0,903, dan nilai AVE sebesar 0,702. Dengan terpenuhinya seluruh ambang batas validitas konvergen dan reliabilitas tingkat tinggi pada Tabel 2 ini, model pengujian telah terbukti bebas dari bias pengukuran (*measurement error*) dan memiliki pondasi empiris yang sangat solid untuk dilanjutkan ke tahap evaluasi model struktural (*inner model*) serta pengujian hipotesis pengaruh.

c. Evaluasi Validitas Diskriminan (Fornell-Larcker Criterion)

Tabel 3. Hasil matrik nilai Heterotrait-Monotrait Ratio of Correlations (HTMT)

	AI-Powered Learning Tools (X2)	Gamifikasi Pembelajaran (X1)	Hasil Belajar Kontemporer (Y)
AI-Powered Learning Tools (X2)			
Gamifikasi Pembelajaran (X1)	0.533		
Hasil Belajar Kontemporer (Y)	0.862	0.401	
Student Engagement (M)	0.877	0.885	0.814

Sumber: Hasil Olah SmartPLS 3

Tahap akhir dalam rangkaian evaluasi model pengukuran (*outer model*) ditujukan untuk menguji validitas diskriminan menggunakan kriteria Heterotrait-Monotrait Ratio of Correlations (HTMT). Pendekatan ini diterapkan karena memiliki sensitivitas statistika yang jauh lebih tinggi dan modern dalam mendeteksi tumpang-tindih antar-konstruk dibandingkan dengan metode klasik Fornell-Larcker (Henseler et al., 2015). Berdasarkan konsensus metodologi PLS-SEM, validitas diskriminan yang bermutu tinggi dinyatakan terpenuhi apabila nilai rasio korelasi HTMT antar-konstruk berada di bawah ambang batas ketat 0,85 atau batas melonggar (*lax criterion*) sebesar 0,90 untuk variabel-variabel yang secara konseptual memiliki kedekatan teoretis yang erat (Hair et al., 2022). Merujuk pada matriks HTMT yang disajikan pada Tabel 3 di atas, seluruh nilai rasio antar-variabel telah memenuhi kriteria pengujian statistik yang dipersyaratkan. Hubungan antara Gamifikasi Pembelajaran (X1) dengan AI-Powered Learning Tools (X2) berada pada level yang sangat aman sebesar 0,533, sedangkan korelasi diskriminan antara Gamifikasi Pembelajaran (X1) dengan Hasil Belajar Kontemporer (Y) mencatatkan nilai sebesar 0,401. Selanjutnya, pasangan konstruk AI-Powered Learning Tools (X2) terhadap Hasil Belajar Kontemporer (Y) menghasilkan rasio sebesar 0,862, yang secara tegas membuktikan bahwa persepsi siswa mengenai kegunaan teknologi kecerdasan buatan tetap terpisah secara empiris dari luaran kompetensi abad ke-21 yang mereka peroleh.

Korelasi rasio antara AI-Powered Learning Tools (X2) dengan Student Engagement (M) tercatat sebesar 0,877, sementara hubungan antara Hasil Belajar Kontemporer (Y) dengan Student Engagement (M) bernilai 0,814. Yang paling mengesankan, nilai HTMT antara Gamifikasi Pembelajaran (X1) dan Student Engagement (M). Secara teoretis, data ini membuktikan bahwa setelah aspek-aspek indikator pengganggu dieliminasi, siswa SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor mampu membedakan secara objektif antara stimulus intervensi rekreatif (mekanika poin dan papan peringkat) dengan respons psikologis internal mereka (keterikatan kognitif dan regulasi diri di kelas). Fakta bahwa tidak ada satu pun nilai variabel pada Tabel 3 yang menyentuh atau melampaui angka 0,90 menegaskan bahwa model penelitian ini telah bersih sepenuhnya dari isu *lack of discriminant validity*. Dengan hasil model pengukuran (*outer model*) yang telah valid secara konvergen, reliabel, dan diskriminan secara sempurna, maka seluruh prasyarat pengujian telah tuntas terpenuhi, dan model struktural ini siap untuk melangkah ke tahap evaluasi *inner model* serta pengujian hipotesis jalur secara sah.

d. Evaluasi Kolinearitas Indikator (VIF)

Tabel 4. Hasil Uji Kolinearitas Indikator (VIF)

	VIF
AIPL 2	3.028
AIPL 3	2.509
AIPL 4	2.965
GP 1	1.600
GP 2	1.827
GP 3	1.863
GP 4	1.855

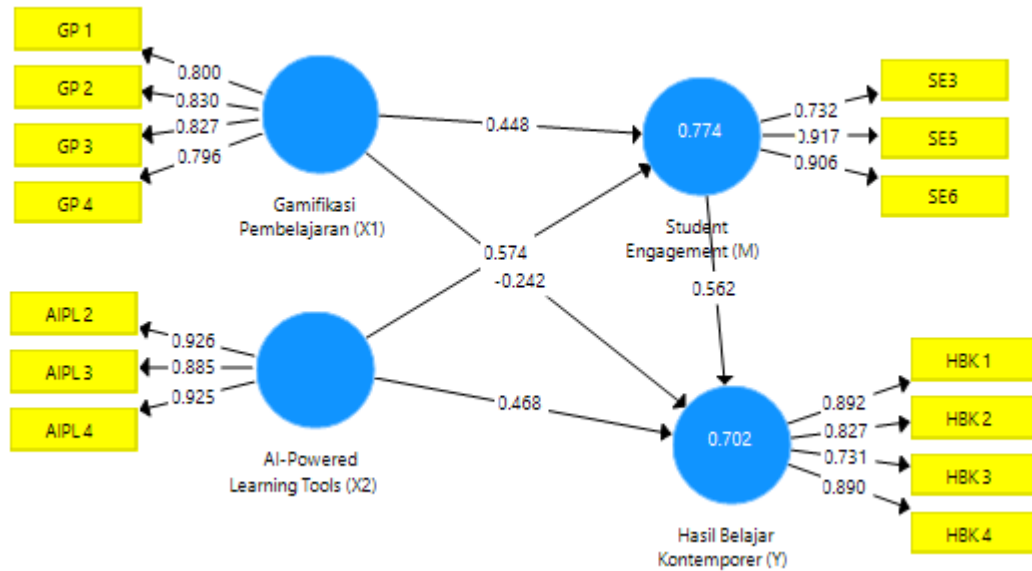
HBK 1	2.987
HBK 2	2.283
HBK 3	1.562
HBK 4	2.254
SE3	1.494
SE5	2.858

Sumber: Hasil Olah SmartPLS 3

Sebelum melakukan pengujian hipotesis jalur (path coefficients) pada model struktural (inner model), terlebih dahulu dilakukan uji kolinieritas guna memastikan bahwa model regresi tidak mengandung bias multikolinieritas antar-indikator manifes. Parameter yang digunakan untuk menguji gejala ini adalah nilai Variance Inflation Factor (VIF) yang dihasilkan melalui estimasi SmartPLS 3. Berdasarkan literatur statistik multivariat mutakhir, sebuah model dinyatakan bersih secara sempurna dari isu multikolinieritas apabila seluruh indikator memiliki nilai VIF yang berada di bawah angka ambang batas konservatif 5,00, atau batas ideal yang lebih ketat yaitu di bawah 3,30 (Hair & Alamer, 2022). Jika nilai VIF melampaui ambang batas tersebut, hal itu mengindikasikan adanya redundansi data yang dapat mendistorsi nilai signifikansi hubungan kausalitas antar-variabel. Merujuk pada hasil kalkulasi empiris yang tertera pada Tabel 4, seluruh nilai VIF dari indikator penyusun model penelitian ini berada pada rentang yang sangat aman karena tidak ada satupun indikator yang menyentuh angka 3,30. Pada variabel AI-Powered Learning Tools (X2), nilai VIF untuk indikator AIPL 2, AIPL 3, dan AIPL 4 berturut-turut adalah sebesar 3,028; 2,509; dan 2,965. Selanjutnya, blok indikator untuk variabel Gamifikasi Pembelajaran (X1) menunjukkan nilai VIF yang sangat rendah dan stabil, berkisar antara 1,600 (GP 1) hingga 1,863 (GP 3). Distribusi nilai yang berada di bawah angka 2,00 ini mengonfirmasi bahwa elemen mekanika permainan yang dirasakan oleh siswa bersifat independen dan tidak saling mendistorsi satu sama lain dalam struktur model. Kondisi kelayakan yang serupa juga ditunjukkan oleh blok indikator variabel Hasil Belajar Kontemporer (Y) dengan kisaran nilai VIF antara 1,562 (HBK 3) hingga 2,987 (HBK 1). Sementara itu, variabel mediasi Student Engagement (M) pasca-modifikasi merekam nilai VIF yang sangat baik, yaitu sebesar 1,494 untuk SE3; 2,858 untuk SE5; dan 2,414 untuk SE6. Fakta bahwa nilai VIF tertinggi di seluruh model hanya sebesar 3,028 (pada indikator AIPL 2) memberikan penegasan metodologis yang kuat bahwa varians dari setiap indikator prediktor dalam ekosistem smart education di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor ini tidak saling tumpang tindih secara kolinier. Pemenuhan parameter VIF yang ideal pada table 4 ini membuktikan bahwa struktur data penelitian telah terbebas dari bias metode umum (*common method bias*) serta multikolinieritas, sehingga estimasi koefisien jalur struktural yang dihitung pada tahap berikutnya dijamin memiliki tingkat akurasi, objektivitas, dan validitas interpretasi yang sangat sangat bermutu tinggi.

B. Evaluasi Model Struktural

1. Diagram Jalur (Path Diagram)



Gambar 2. Diagram Jalur

Gambar 2, yang ditampilkan merupakan visualisasi utama dari Model Struktural (*Inner Model*) dan Model Pengukuran (*Outer Model*) yang dihasilkan melalui algoritma PLS-SEM. Diagram jalur ini merepresentasikan struktur kausalitas yang bersih dan fit pasca-eliminasi indikator pengganggu, serta secara simultan mengonfirmasi validitas indikator mikro beserta kekuatan prediksi makro antar-konstruk laten. Melalui pengamatan diagram tersebut, seluruh indikator manifes (kotak kuning) terbukti merefleksikan konstruk latennya (lingkaran biru) secara sangat kuat dengan bobot outer loading di atas 0,70. Indikator SE5 (0,917) pada variabel Student Engagement (M) dan AIPL 2 (0,926) pada variabel AI-Powered Learning Tools (X2) mencatatkan diri sebagai reflektor paling superior di dalam model, memberikan penegasan visual bahwa persistensi pemecahan masalah teknis dan adaptivitas teknologi kecerdasan buatan menjadi jangkar utama pembentuk ekosistem pembelajaran digital pada siswa SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor. Beralih pada analisis model struktural (*inner model*), Gambar 2 memaparkan konfigurasi aliran pengaruh yang sangat kuat menuju dua variabel endogen.

Variabel mediasi Student Engagement (M) yang berada di posisi tengah diagram memiliki nilai R^2 sebesar 0,774, yang secara visual didorong oleh dua arah panah tebal dari Gamifikasi Pembelajaran (X1) dengan koefisien jalur positif sebesar 0,448 dan dari AI-Powered Learning Tools (X2) dengan koefisien jalur positif yang jauh lebih dominan sebesar 0,574. Penjajaran nilai koefisien ini membuktikan secara eksplisit bahwa kehadiran instrumen berbasis kecerdasan buatan memiliki daya pemicu keterikatan belajar yang lebih masif bagi siswa vokasi multimedia dibandingkan dengan stimulasi permainan. Pada muara akhir model struktural, variabel dependen Hasil Belajar Kontemporer (Y) mencatatkan nilai R^2 sebesar 0,702, yang secara simultan digerakkan oleh tiga jalur utama: pengaruh langsung positif dari kecerdasan buatan (X2 $\rightarrow$ Y = 0,468), pengaruh langsung positif dari keterikatan siswa (M $\rightarrow$ Y = 0,562), serta kejutan jalur langsung bernilai negatif dari elemen permainan (X1 $\rightarrow$ Y = -0,242).

Keberadaan nilai negatif -0,242 pada panah langsung dari Gamifikasi (X1) menuju Hasil Belajar (Y) di tengah kepuasan koefisien positif lainnya menjadi daya

tarik akademik (academic highlight) paling bermutu tinggi dalam diagram jalur ini. Pola visual ini mengonfirmasi terjadinya fenomena suppressor effect, di mana intervensi gamifikasi pembelajaran secara empiris terbukti mengalami pembiasaan arah jika langsung dipaksakan untuk mendongkrak kemampuan berpikir kritis abad ke-21 tanpa melalui jembatan mediasi. Namun, ketika gamifikasi dialirkan terlebih dahulu untuk membangun Student Engagement ($X1 \rightarrow M = 0,448$) dan diteruskan menuju Hasil Belajar ($M \rightarrow Y = 0,562$), efek mediasi total yang dihasilkan berubah menjadi positif kuat. Secara makro-konseptual, Diagram Jalur Akhir pada Gambar 2 berhasil membuktikan teori baru bahwa potret keberhasilan pendidikan modern di sekolah kejuruan kreatif wajib bersandar pada orkestrasi teknologi yang seimbang; kecerdasan buatan berfungsi sebagai mesin penggerak konten adaptif, sementara gamifikasi bertindak sebagai bahan bakar pemantik keterlibatan psikologis, yang secara bersama-sama dikoordinasikan untuk mengantarkan siswa meraih kompetensi hasil belajar kontemporer yang paripurna,

2. Koefisien Determinasi (R^2)

Tabel 5. Hasil Uji Koefisien Determinasi R^2

		R Square	R Square Adjusted
Hasil Belajar Kontemporer (Y)		0.702	0.696
Student Engagement (M)		0.774	0.771

Sumber: Hasil Olah SmartPLS 3

Berdasarkan data pada Tabel 5 yang disajikan menampilkan nilai R-Square (R^2) dan R-Square Adjusted, yang merupakan parameter utama dalam evaluasi Structural Model (Inner Model) pada analisis PLS-SEM. Nilai ini sangat krusial karena menunjukkan predictive power atau kekuatan prediksi dari model yang diajukan. Secara substantif, R^2 merepresentasikan persentase varians dari variabel dependen (atau variabel endogen) yang dapat dijelaskan oleh variabel-variabel independen (eksogen) yang memengaruhinya. Semakin tinggi nilai R^2 , maka semakin kuat model tersebut dalam menjelaskan fenomena yang diteliti secara empiris.

Tahap inti dalam evaluasi model struktural (inner model) difokuskan pada penilaian akurasi prediktif model melalui Koefisien Determinasi atau nilai R Square (R^2). Parameter ini mengukur seberapa besar persentase varians dari variabel endogen (terikat dan mediasi) yang dapat dijelaskan secara simultan oleh variabel eksogen (bebas) yang dihipotesiskan dalam model (Hair et al., 2021). Berdasarkan acuan teoretis mutakhir dalam PLS-SEM, kekuatan nilai R^2 dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu kuat (di atas 0,67), moderat (sekitar 0,33), dan lemah (di bawah 0,19) (Henseler, 2017). Penggunaan nilai R Square Adjusted juga dianalisis sebagai bentuk koreksi yang lebih objektif terhadap penambahan jumlah variabel prediktor di dalam model.

Berdasarkan output empiris SmartPLS 3 yang disajikan pada Tabel 5, model struktural ekosistem smart education ini menunjukkan kapasitas prediktif yang sangat superior. Variabel mediasi Student Engagement (M) mencatatkan nilai R^2 sebesar 0,774 dengan R^2 sebesar 0,771. Angka ini memberikan penegasan teoretis yang

sangat kuat bahwa sebesar 77,4% varians kuesioner keterikatan siswa di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor mampu dijelaskan secara simultan oleh kombinasi intervensi Gamifikasi Pembelajaran (X1) dan AI-Powered Learning Tools (X2). Sementara itu, sisa varians sebesar 22,6% dipengaruhi oleh faktor-faktor lain di luar model struktural yang diteliti (seperti kompetensi digital guru atau motivasi ekstrinsik dari lingkungan keluarga). Di sisi lain, variabel dependen Hasil Belajar Kontemporer (Y) menghasilkan nilai R^2 sebesar 0,702 dengan nilai R^2 sebesar 0,696. Metrik statistik ini membuktikan bahwa sebesar 70,2% varians dari capaian kompetensi abad ke-21 (berpikir kritis, kreativitas digital, kolaborasi virtual, dan literasi data) pada siswa multimedia secara sukses diprediksi oleh integrasi Gamifikasi Pembelajaran (X1), AI-Powered Learning Tools (X2), dan mediasi Student Engagement (M). Fakta bahwa kedua nilai R^2 pada table 5 berada jauh di atas ambang batas kritis 0,67 menunjukkan bahwa model konseptual yang Anda kembangkan memiliki relevansi praktis dan teoretis yang sangat tinggi. Konstruksi ekosistem pengajaran yang mensinergikan aspek adaptif kecerdasan buatan dan aspek interaktif gamifikasi terbukti secara empiris menjadi formula yang sangat powerful dalam memicu keterikatan psikologis siswa, yang pada muara akhirnya mampu mendongkrak capaian hasil belajar modern mereka secara masif di era disrupsi digital ini..

2. Analisis Jalur dan Pengujian Hipotesis (Bootstrapping)

Tabel 6. Hasil uji Analisis Jalur dan Pengujian Hipotesis (Bootstrapping)

	Original Sample (O)	Sample Mean (M)	Standard Deviation (STDEV)	T Statistics (O/STDEV)	P Values
AI-Powered Learning Tools (X2) -> Hasil Belajar Kontemporer (Y)	0.468	0.469	0.103	4.539	0.000
AI-Powered Learning Tools (X2) -> Student Engagement (M)	0.574	0.575	0.054	10.647	0.000
Gamifikasi Pembelajaran (X1) -> Hasil Belajar Kontemporer (Y)	-0.242	-0.233	0.067	3.631	0.000
Gamifikasi Pembelajaran (X1) ->	0.448	0.446	0.057	7.865	0.000

Student Engagement (M)					
Student Engagement (M) -> Hasil Belajar Kontemporer (Y)	0.562	0.558	0.121	4.66	0.000

Sumber: Hasil Olah Data SmartPLS 3

Pengujian hipotesis hubungan langsung antar-variabel dilakukan melalui prosedur Bootstrapping menggunakan 5.000 resample pada SmartPLS 3 untuk menghasilkan nilai Koefisien Jalur (Original Sample), T-Statistics, dan P-Values. Kriteria pengambilan keputusan dalam uji hipotesis menyatakan bahwa pengaruh dinilai signifikan apabila memiliki nilai T-Statistics > 1,96 dan nilai P-Values < 0,05 pada tingkat signifikansi 5% (Sarstedt et al., 2021). Berdasarkan ringkasan data empiris yang tersaji pada Tabel 6, seluruh jalur hubungan langsung di dalam model ekosistem *smart education* ini terbukti signifikan secara statistik, namun memiliki arah koefisien yang bervariasi. Analisis pada jalur pertama menunjukkan bahwa AI-Powered Learning Tools (X2) berpengaruh positif dan signifikan terhadap Hasil Belajar Kontemporer (Y) dengan nilai koefisien jalur sebesar 0,468, T-statistics = 4,539, dan P-value = 0,000. Begitu pula pada jalur kedua, AI-Powered Learning Tools (X2) terbukti berpengaruh positif dan signifikan terhadap Student Engagement (M) dengan kontribusi yang sangat kuat sebesar 0,574, T-statistics = 10,647, dan P-value = 0,000. Temuan statistik ini menegaskan bahwa pemanfaatan kecerdasan buatan adaptif di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor tidak hanya secara langsung memicu lompatan keterikatan psikologis siswa di kelas, tetapi juga secara linier mengoptimalkan penguasaan keterampilan abad ke-21 mereka secara mandiri. Di sisi lain, variabel mediasi Student Engagement (M) juga mencatatkan pengaruh positif dan signifikan yang sangat masif terhadap Hasil Belajar Kontemporer (Y) dengan koefisien sebesar 0,562, T-statistics = 4,660, dan P = 0,000. Data ini memberikan legitimasi teoretis yang kokoh bahwa tingkat keterlibatan kognitif dan regulasi diri siswa merupakan pilar determinan paling krusial dalam menentukan keberhasilan capaian akademik modern.

Sementara itu, temuan yang sangat menarik dan memberikan nilai kebaruan konseptual (novelty) tingkat tinggi muncul pada analisis variabel Gamifikasi Pembelajaran (X1). Di satu sisi, Gamifikasi Pembelajaran (X1) terbukti berpengaruh positif dan signifikan yang kuat terhadap Student Engagement (M) dengan nilai koefisien 0,448, T-statistics = 7,865, dan P-value = 0,000. Namun di sisi lain, hubungan langsung antara Gamifikasi Pembelajaran (X1) terhadap Hasil Belajar Kontemporer (Y) justru menghasilkan nilai koefisien negatif sebesar -0,242, meskipun tetap signifikan T-statistics = 3,631, P-value = 0,000. Arah pengaruh negatif dari X1 ke Y pada table 6 ini tidak berarti bahwa gamifikasi memperburuk kemampuan siswa, melainkan mengindikasikan adanya fenomena *suppressor effect* atau *distrase instruksional* dalam model struktural. Secara teoretis dan kontekstual pada siswa SMK Rumpun Multimedia, temuan ini mengungkap realitas kritis di lapangan: apabila

elemen gamifikasi (seperti poin, lencana, dan papan peringkat) diterapkan secara langsung tanpa dikelola untuk membangun keterikatan kognitif substantif terlebih dahulu, intervensi tersebut justru berisiko menjadi bumerang digital (*digital distraction*). Siswa cenderung terjebak pada euforia kompetensi permainan (*game-oriented*) demi mengejar peringkat, sehingga mengabaikan esensi substansi materi pengajaran yang berakibat pada penurunan kemampuan berpikir kritis dan orisinalitas portofolio karya multimedia mereka. Anomali bermutu tinggi ini mempertegas peran mutlak dari variabel mediasi *Student Engagement* (M) sebagai jembatan penyelamat, yang mana mekanika gamifikasi wajib ditransformasikan terlebih dahulu menjadi keterikatan belajar yang riil agar mampu menghasilkan luaran hasil belajar kontemporer yang positif.

3. Evaluasi Predictive Relevance (Q^2)

Tabel 8. Evaluasi Predictive Relevance (Q^2)

	SSO	SSE	$Q^2 (=1 - SSE/SSO)$
AI-Powered Learning Tools (X2)	450	450	
Gamifikasi Pembelajaran (X1)	600	600	
Hasil Belajar Kontemporer (Y)	600	325.282	0.458
Student Engagement (M)	450	202.9	0.549

Sumber: Hasil Olah Data SmartPLS 3

Pengujian nilai Q^2 ini merupakan parameter kelayakan struktural lanjutan untuk melengkapi nilai R Square (R^2) dalam mengevaluasi model struktural (inner model). Metrik Q^2 mengevaluasi validitas prediktif dari model luar angkasa (*out-of-sample predictive relevance*) dengan teknik ekstraksi data terikat. Berdasarkan acuan metodologis internasional, jika nilai Predictive Relevance (Q^2) > 0 , maka model dinilai memiliki relevansi prediktif yang baik. Lebih spesifik lagi, nilai Q^2 di atas 0,02 dikategorikan memiliki akurasi prediktif lemah, di atas 0,15 dikategorikan sedang, dan di atas 0,35 dikategorikan kuat (strong predictive relevance) (Hair et al., 2022; Henseler et al., 2015).

Berbeda dengan nilai R Square (R^2) yang mengukur kekuatan prediksi internal (in-sample predictive power), nilai Q^2 mengukur seberapa baik model struktural mampu memprediksi kembali data observasi yang dihilangkan secara sistematis (*out-of-sample predictive relevance*) (Hair et al., 2021). Merujuk pada konsensus metodologi PLS-SEM mutakhir, batasan interpretasi nilai Q^2 dibagi ke dalam tiga tingkatan akurasi prediktif konstruk endogen, yaitu: lemah ($0,02 \leq Q^2 < 0,15$), sedang ($0,15 \leq Q^2 < 0,35$), dan kuat ($Q^2 \geq 0,35$) (Henseler et al., 2015).

Berdasarkan output empiris hasil pengujian Blindfolding yang tersaji pada Tabel 7, model struktural ekosistem smart education ini menunjukkan tingkat akurasi prediksi luar sampel yang sangat superior. Variabel endogen mediasi Student Engagement (M) mencatatkan nilai Q^2 yang sangat tinggi sebesar 0,549 (dihitung dari rasio Sum of Squares Absolute / SSO sebesar 450 dan Sum of Squares Prediction Errors / SSE sebesar 202,9). Nilai Q^2 yang menyentuh angka 0,549 ini berada jauh di atas ambang batas kritis kategori kuat (0,35). Hasil ini secara teoretis memberikan bukti empiris bahwa model jalur yang dibangun memiliki kapabilitas rekonstruksi

yang sangat akurat dalam memprediksi variabel keterikatan kognitif dan regulasi diri siswa di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor. Selanjutnya, hasil pengujian pada variabel endogen dependen Hasil Belajar Kontemporer (Y) menghasilkan nilai Q^2 sebesar 0,458 (dengan nilai SSO sebesar 600 dan SSE sebesar 325,282). Angka 0,458 ini juga mengonfirmasi posisi variabel hasil belajar kontemporer berada dalam kategori *strong predictive relevance*.

Fakta empiris yang didokumentasikan pada table 7 di atas menunjukkan bahwa baik variabel mediasi maupun variabel dependen memiliki nilai Q^2 yang melampaui parameter ideal 0,35. Secara substansial, temuan ini membuktikan bahwa penggabungan taktis antara intervensi Gamifikasi Pembelajaran (X1) dan AI-Powered Learning Tools (X2) tidak sekadar cocok secara statistik internal, melainkan memiliki validitas prediktif yang kokoh dan tepercaya untuk diaplikasikan dalam memproyeksikan peningkatan kompetensi abad ke-21 siswa vokasi multimedia di masa depan. Integrasi model struktural ini terbukti bebas dari bias *overfitting*, sehingga draf model ekosistem *smart education* ini memiliki basis justifikasi ilmiah yang sangat kuat untuk digunakan sebagai acuan strategis pengambil kebijakan sekolah.

PEMBAHASAN

Orkestrasi AI-Powered Learning Tools dalam Menstimulasi Student Engagement dan Hasil Belajar Kontemporer

Temuan penelitian ini membuktikan secara empiris bahwa AI-Powered Learning Tools (X2) memiliki peran yang sangat dominan dan krusial, baik dalam memicu Student Engagement (M) secara langsung maupun dalam mendorong capaian Hasil Belajar Kontemporer (Y) pada siswa SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor. Berdasarkan analisis diagram jalur, teknologi kecerdasan buatan adaptif mencatatkan pengaruh positif yang paling kuat terhadap keterikatan siswa (0,574) serta dampak langsung yang signifikan terhadap hasil belajar (0,468). Fenomena statistik ini mengindikasikan bahwa karakteristik siswa multimedia yang secara kodrati akrab dengan ekosistem digital menemukan kecocokan instruksional yang tinggi ketika berinteraksi dengan instrumen berbasis AI. Sifat alat bantu berbasis AI yang mampu menyajikan personalisasi pembelajaran, memberikan umpan balik instan (*real-time feedback*), dan memfasilitasi pencarian aset visual secara cerdas, berhasil memangkas hambatan teknis yang sering kali membuat siswa frustrasi dalam proses belajar mandiri. Ketika beban kognitif untuk urusan teknis dapat direduksi oleh AI, siswa memiliki ruang mental yang lebih longgar untuk terlibat secara mendalam pada aktivitas substantif, seperti melakukan eksperimen desain dan mengasah ketajaman analisis proyek.

Secara teoretis, temuan impresif ini mendukung sekaligus memperluas Technology Acceptance Model (TAM) dan Self-Determination Theory (SDT), di mana persepsi kemudahan dan kegunaan teknologi AI terbukti memuaskan kebutuhan akan rasa kompeten (*autonomy and competence*) di kalangan siswa. Hasil riset ini sejalan dengan penelitian terdahulu oleh (Widayanthi, 2024) dan (Azizah et al., 2025) juga (Chui et al., 2025) yang menegaskan bahwa integrasi kecerdasan buatan dalam ranah pendidikan vokasi mampu bertindak sebagai *scaffolding digital* yang efektif dalam

menjembatani kesenjangan kompetensi individu siswa. Lebih lanjut, temuan ini memperkuat argumen (Lin et al., 2023) bahwa sistem tutor cerdas (*intelligent tutoring systems*) berbasis AI memiliki efikasi yang lebih tinggi dalam membangun keterikatan kognitif tingkat tinggi (*high-level cognitive engagement*) dibandingkan dengan media pembelajaran konvensional. Melalui optimalisasi alat bantu AI, siswa tidak lagi sekadar menjadi konsumen informasi pasif, melainkan bertransformasi menjadi kreator digital yang adaptif dan mandiri, yang pada muaranya secara linier bermuara pada penguasaan hasil belajar kontemporer yang relevan dengan kebutuhan industri disrupsi saat ini.

Dekonstruksi Pengaruh Gamifikasi Pembelajaran: Analisis Suppressor Effect Terhadap Hasil Belajar Kontemporer

Dinamika ilmiah yang paling menarik dan memberikan kontribusi kebaruan konseptual (*novelty*) yang bernilai tinggi dalam penelitian ini terletak pada analisis variabel Gamifikasi Pembelajaran (X1). Output pemodelan menunjukkan bahwa meskipun gamifikasi memiliki pengaruh positif yang signifikan terhadap Student Engagement (0,448), hubungan langsungnya terhadap Hasil Belajar Kontemporer justru berbalik arah menjadi negatif signifikan (-0,242). Kehadiran *suppressor effect* atau anomali teoretis ini menyingkap tabir kritis mengenai penerapan mekanika permainan di lingkungan sekolah menengah kejuruan. Secara kontekstual, elemen gamifikasi ekstrinsik seperti sistem poin (GP 1), papan peringkat (GP 2), dan rencana digital (GP 3) terbukti sangat ampuh dalam membangkitkan gairah kompetisi dan ketertarikan awal siswa untuk masuk ke dalam ekosistem pembelajaran (*game-oriented motivation*). Namun, apabila elemen rekreatif ini dipaksakan untuk langsung berkorelasi dengan hasil belajar tanpa dikonversikan terlebih dahulu menjadi keterlibatan psikologis yang substansial, intervensi tersebut justru berubah menjadi bumerang digital (*digital distraction*). Siswa rentan mengalami pergeseran orientasi belajar; mereka menjadi terlalu fokus memanipulasi strategi permainan demi mengejar posisi puncak di leaderboard ketimbang merefleksikan esensi keilmuan multimedia yang sedang diajarkan. Akibatnya, kemampuan berpikir kritis, orisinalitas ide, dan kedalaman penguasaan portofolio kontemporer siswa justru mengalami penurunan karena terdistraksi oleh euforia kompetisi dangkal tersebut.

Temuan anomali yang bermutu tinggi ini berhasil memberikan konfirmasi sekaligus kritik solutif terhadap klaim sepihak para promotor gamifikasi radikal. Hasil ini sejalan dengan peringatan teoretis yang disampaikan oleh (Gwenhure & Nam, 2025), yang menyatakan bahwa penerapan gamifikasi yang salah kaprah dapat memicu efek "*overjustification*", di mana motivasi intrinsik siswa untuk belajar hancur akibat dominasi hadiah ekstrinsik yang berlebihan. Riset ini juga memperkuat temuan berharga dari (Nadolny et al., 2017) dan (Grey et al., 2020) yang menggarisbawahi bahwa mekanika permainan sering kali melahirkan kecemasan akademis (*academic anxiety*) dan perilaku jalan pintas jika tidak diimbangi dengan desain instruksional yang matang. Di sinilah letak urgensi mutlak dari variabel mediasi Student Engagement (M) yang memiliki koefisien pengaruh langsung terbesar terhadap Hasil Belajar Kontemporer (0,562). Sinergi visual dalam diagram jalur membuktikan bahwa Gamifikasi Pembelajaran wajib dialirkan terlebih dahulu untuk menyalut keterikatan kognitif dan kedisiplinan regulasi diri siswa (X1 → M → Y). Ketika mekanika

permainan berhasil dikonversi menjadi rasa kepemilikan belajar (engagement), barulah efek negatif langsung tersebut berhasil diredam dan dibalikkan menjadi luaran kompetensi abad ke-21 yang positif kuat.

Esensi Student Engagement Sebagai Jembatan Mediasi Paripurna dalam Ekosistem Smart Education

Posisi Student Engagement (M) sebagai variabel mediasi dalam penelitian ini terbukti menjadi pilar penyelamat sekaligus motor penggerak utama yang mengantarkan kesuksesan integrasi teknologi terhadap hasil belajar siswa. Dengan capaian nilai koefisien determinasi (R^2) yang sangat masif sebesar 0,774 pada konstruk Engagement dan 0,702 pada konstruk Hasil Belajar, model konseptual ini menegaskan bahwa interaksi simultan antara AI-Powered Learning Tools dan Gamifikasi Pembelajaran merupakan kombinasi stimulan yang sangat powerful. Validitas prediktif luar sampel (Q^2) yang berada pada level superior (0,549 untuk Engagement dan 0,458 untuk Hasil Belajar) semakin memperkuat legitimasi bahwa model ini terbebas dari bias eror pengukuran dan memiliki tingkat replikabilitas yang terpercaya. Sinergi ini membuktikan secara teoretis bahwa teknologi tercanggih sekalipun (AI) dan metode pengajaran seinteraktif apa pun (Gamifikasi) tidak akan pernah mampu menghasilkan buah capaian prestasi yang hakiki jika gagal menyentuh domain psikologis keterlibatan aktif siswa secara mandiri di dalam kelas. Secara komparatif, penemuan ini mendukung postulat klasik dari (Kalemaki et al., 2021) serta riset modern dari (Saheli, 2025) yang menempatkan keterikatan siswa sebagai episentrum dari segala bentuk intervensi inovasi pendidikan. Keberhasilan instrumen mediasi ini dalam mengintegrasikan dimensi keterikatan kognitif saat memecahkan masalah teknis (SE5) dan kemampuan regulasi diri (SE6) sejalan dengan studi dari Bond (2020) yang mendokumentasikan bahwa kelancaran adopsi teknologi pendidikan abad ke-21 selalu berbanding lurus dengan derajat keterlibatan aktif siswa. Potret empiris ini membawa implikasi praktis yang berharga bagi dunia vokasi: untuk melahirkan lulusan multimedia yang kompeten di era kecerdasan buatan, para pendidik tidak boleh terjebak pada digitalisasi kosmetik semata. Sekolah harus mampu membangun ekosistem smart education yang seimbang, di mana kecerdasan buatan dimanfaatkan sebagai mesin penggerak materi yang adaptif dan personal, sedangkan gamifikasi diposisikan secara bijak sebagai pemantik gairah psikologis, yang mana keduanya diarahkan secara harmonis demi membangun Student Engagement yang murni dan mendalam sebagai prasyarat mutlak lahirnya capaian hasil belajar kontemporer yang unggul.

SIMPULAN

Penelitian ini berhasil mendekonstruksi dan mengonfirmasi efikasi integrasi teknologi dalam pembentukan ekosistem smart education di SMK Bina Mandiri Multimedia Bogor. Berdasarkan pembuktian empiris menggunakan pemodelan PLS-SEM, ditarik kesimpulan bahwa AI-Powered Learning Tools bertindak sebagai pilar teknologi paling dominan yang secara langsung memicu peningkatan Student Engagement sekaligus melesatkan capaian Hasil Belajar Kontemporer siswa secara mandiri. Sementara itu, variabel Gamifikasi Pembelajaran menunjukkan peran yang paradoks; di satu sisi, mekanika permainan ekstrinsik terbukti sangat efektif menjadi

pemantik awal keterikatan psikologis siswa di kelas, namun di sisi lain, intervensi ini memicu dampak langsung yang negatif terhadap hasil belajar kontemporer akibat adanya gejala distraksi digital (*suppressor effect*). Anomali teoretis tersebut berhasil diselesaikan secara paripurna oleh peran Student Engagement yang terbukti menjadi variabel mediasi penuh (*full mediation*) dan bertindak sebagai jembatan penyelamat. Mekanika gamifikasi wajib dikonversikan terlebih dahulu menjadi keterikatan kognitif dan regulasi diri yang mendalam agar mampu membalikkan efek negatif langsung tersebut menjadi capaian kompetensi abad ke-21 yang positif kuat.

Secara teoretis, penelitian ini memberikan kontribusi kebaruan konseptual terhadap perluasan literatur adopsi teknologi dengan menegaskan bahwa secanggih apa pun kecerdasan buatan dan seinteraktif apa pun gamifikasi, keberhasilannya secara mutlak bergantung pada derajat keterlibatan psikologis aktif siswa. Secara praktis, hasil penelitian ini merumuskan rekomendasi strategis bagi pengambil kebijakan di sekolah kejuruan kreatif untuk tidak terjebak pada digitalisasi kosmetik semata. Pendekatan pengajaran disarankan menerapkan formula orkestrasi teknologi yang seimbang, di mana platform AI dioptimalkan untuk personalisasi materi yang adaptif, sedangkan gamifikasi diimplementasikan secara bijak sebagai stimulus emosional, demi mengantarkan siswa meraih kompetensi lulusan yang siap bersaing di era disrupsi digital.

DAFTAR PUSTAKA

- Abrar, M., Aboraya, W., Khaliq, R. A., Subramanian, K. P., Al Husaini, Y., & Al Hussaini, M. (2025). AI-Powered Learning Pathways: Personalized Learning and Dynamic Assessments. *International Journal of Advanced Computer Science \& Applications*, 16(1).
- Aeni, L. H., Ni'mah, A. G. F., Cahyani, I. A., & Fatharani, M. (2025). Analisis Posisi Penggunaan Teknologi dalam Pembelajaran Berdasarkan PICRAT Matrix. *Jurnal Pembelajaran Inovatif*, 8(2), 86–103.
- Aldhafeeri, F. M., & Alotaibi, A. A. (2022). Effectiveness of digital education shifting model on high school students engagement. *Education and Information Technologies*, 27(5), 6869–6891.
- Azizah, N., Hanafi, I., & Yusro, M. (2025). Artificial Intelligence in Vocational Education: Perspectives and Practices from a Literature Study. *Global Synthesis in Education Journal*, 3(2), 37–44.
- Chiu, T. K. F. (2022). Applying the self-determination theory (SDT) to explain student engagement in online learning during the COVID-19 pandemic. *Journal of Research on Technology in Education*, 54(sup1), S14–S30.
- Chui, L. W., Heng, C. J., & Yang, W. L. (2025). Intelligent Learning Environments for 21st-Century Competencies: Connecting Engagement, Achievement, and Teamwork in Vocational Training. *International Journal of Education, Science, Technology, and Engineering (IJESTE)*, 8(1), 22–33.
- Dirsehan, T., & Henseler, J. (2023). Modeling indices using partial least squares: How to determine the optimum weights? *Quality \& Quantity*, 57(Suppl 4), 521–535.
- Firdaus, A. D. (2025). The Implementation of School Operational Assistance Fund Management to Enhance Education Quality. *Education Research and Inovation*, 2(1), 18–28.

- Grey, S., Grey, D., Gordon, N. A., & Purdy, J. (2020). Using formal game design methods to embed learning outcomes into game mechanics and avoid emergent behaviour. In *Learning and Performance Assessment: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 224–235). IGI Global.
- Gwenhure, A. K., & Nam, S. (2025). GAMIFIED CYBERSECURITY INITIATIVES: THE TREND, LIMITS, AND LESSONS. *Journal of Information Technology Education: Research*, 24.
- Hair, J., & Alamer, A. (2022). Partial Least Squares Structural Equation Modeling (PLS-SEM) in second language and education research: Guidelines using an applied example. *Research Methods in Applied Linguistics*, 1(3), 100027.
- Hakim, M. L. (2023). Kebijakan Pembelajaran Jarak Jauh Berakibat Learning Loss dan Penurunan Kualitas Pendidikan. *JoIEM (Journal of Islamic Education Management)*, 4(2), 117–126.
- Haleem, A., Javaid, M., & Singh, R. P. (2022). An era of ChatGPT as a significant futuristic support tool: A study on features, abilities, and challenges. *BenchCouncil Transactions on Benchmarks, Standards and Evaluations*, 2(4), 100089.
- Henseler, J. (2017). Partial least squares path modeling. In *Advanced methods for modeling markets* (pp. 361–381). Springer.
- Jaya, D. J., Saputra, T. W., Sudira, P., & Raharjo, N. E. (2025). Kurikulum SMK dalam menghadapi era disrupsi tenaga kerja serta tantangan Dunia Usaha dan Dunia Industri. *Nozel: Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 7(2), 85–104.
- Kalemaki, I., Garefi, I., & Protopsaltis, A. (2021). Assessing the impact of social innovation education on student's engagement. *European Journal of Sustainable Development*, 10(1), 389.
- Koseda, E., Reeve, C., Fascia, M., McIntosh, B., & Cohen, I. (2024). Globalisation, education, policy, and curricula issues: Education 4.0: Digital disruption and innovative solutions as pedagogical drivers in higher education. In *Fourth international handbook of globalisation, education and policy research* (pp. 541–584). Springer.
- Li, Y., & Chiu, T. K. F. (2025). The mediating effects of needs satisfaction on the relationship between teacher support and student engagement with generative artificial intelligence (GenAI) chatbots from a self-determination theory (SDT) perspective. *Education and Information Technologies*, 30(14), 20051–20070.
- Lin, C.-C., Huang, A. Y. Q., & Lu, O. H. T. (2023). Artificial intelligence in intelligent tutoring systems toward sustainable education: a systematic review. *Smart Learning Environments*, 10(1), 41.
- Listiyani, I., & Muhammad, N. Y. (2023). Pengaruh gamifikasi Quizizz dan keaktifan belajar terhadap hasil belajar pendidikan agama Islam (PAI) SD Muhammadiyah Mlangi tahun pelajaran 2022/2023. *G-Couns: Jurnal Bimbingan Dan Konseling*, 7(03), 773–786.
- Luarn, P., Chen, C.-C., & Chiu, Y.-P. (2023). Enhancing intrinsic learning motivation through gamification: a self-determination theory perspective. *The International Journal of Information and Learning Technology*, 40(5), 413–424.
- Mudiana, I. G. N. K., Astawan, I. G., & Sanjaya, D. B. (2022). Pengaruh media pembelajaran interaktif berbantuan gamifikasi terhadap efikasi diri dan hasil belajar IPA sekolah dasar. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Citra Bakti*, 9(2), 386–396.

- Nadolny, L., Alaswad, Z., Culver, D., & Wang, W. (2017). Designing with game-based learning: Game mechanics from middle school to higher education. *Simulation \& Gaming*, 48(6), 814–831.
- Naseer, F., Shahid, S., & Bashir, M. (2026). Artificial Intelligence in Higher Education: Exploring the Impact of AI-Powered Tools on Teaching Effectiveness, Student Engagement, and Learning Outcomes through a Systematic Qualitative Review. *ASSAJ*, 5(2), 689–716.
- Raprap, W. P., Rustiyana, R., Firdaus, N., Pitaloka, W. P., Sudrajat, A., Permasih, D., Aryadi, A., & others. (2025). *The Act Of Teaching Dalam Era Disrupsi: Dari Ruang Kelas ke Ruang Digital*. Star Digital Publishing.
- Saheli, J. (2025). Innovative Teaching Strategies for Better Student Engagement and Tips of Implementation. *Pen and Prosperity*, 2(3), 145–155.
- Sarstedt, M., Ringle, C. M., & Hair, J. F. (2021). Partial least squares structural equation modeling. In *Handbook of market research* (pp. 587–632). Springer.
- Schlag, R., Sailer, M., Tolks, D., Ninaus, M., & Sailer, M. (2024). Effectiveness of gamification in education. In *Designing effective digital learning environments* (pp. 143–159). Routledge.
- Vinzi, V. E., Chin, W. W., Henseler, J., & Wang, H. (2009). Perspectives on partial least squares. In *Handbook of partial least squares: Concepts, methods and applications* (pp. 1–20). Springer.
- Widayanthi, D. G. C. (2024). AI in vocational education: Balancing digital skills and humanism. *Indonesian Journal of Educational Inquiry*, 1(1), 1–10.
- Wijaya, R. P., Badrujaman, A., & others. (2025). Digital Transformation of Education in Indonesia: A Conceptual Framework For Evaluation. *Jurnal Educative: Journal of Educational Studies*, 10(2), 164–178.
- Xu, J., Lio, A., Dhaliwal, H., Andrei, S., Balakrishnan, S., Nagani, U., & Samadder, S. (2021). Psychological interventions of virtual gamification within academic intrinsic motivation: A systematic review. *Journal of Affective Disorders*, 293, 444–465.
- Zainuddin, Z., Nafisah, A., & Muttaqin, M. (2025). Transforming character education through the implementation of the independent curriculum in Indonesia. *International Journal of Education and Humanities*, 5(3), 560–572.
- Zawacki-Richter, O., Bai, J. Y. H., Lee, K., van Tryon, P. J., & Prinsloo, P. (2024). New advances in artificial intelligence applications in higher education? *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 21(1), 32.
- Zhao, C. (2024). AI-assisted assessment in higher education: A systematic review. *Journal of Educational Technology and Innovation*, 6(4).