

Pemanfaatan Artificial Intelligence Generatif sebagai Tutor Adaptif dalam Pembelajaran Biologi Kelas XII SMA Negeri 1 Panyabungan

Ramandha Putri Daulay¹, Roni Handika Putra², Melda Diana Nasution³

^{1,2,3} Program Studi Tadris Biologi, Sekolah Tinggi Agama Islam Negeri Mandailing Natal, Indonesia

*Email Korespondensi: handikaroni94@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to analyze the utilization of Generative Artificial Intelligence (Generative AI) as an adaptive tutor in Biology learning for Grade XII students at SMAN 1 Panyabungan, covering forms and patterns of utilization, functions, opportunities, challenges, and information verification processes. This research employed a qualitative approach with a case study design. The research informants consisted of eight Grade XII students as primary informants (selected through purposive sampling) and two Biology teachers as supporting informants. Data were collected through in-depth interviews, non-participant observations via user demonstrations, documentation, and digital artifact analysis (chat histories, prompts, and screen captures). Data were analyzed using the interactive model of Miles, Huberman, and Saldaña (data condensation, data display, and conclusion drawing/verification). The findings indicate that Generative AI is primarily utilized to comprehend complex biological concepts, simplify technical explanations, generate contextual examples, create summary points, produce practice questions, and provide immediate feedback. Two distinct utilization patterns emerged: active-dialogic (deep follow-up questioning and conceptual clarification) and passive-pragmatic (direct retrieval of answers). Generative AI functions effectively as a digital scaffold within Vygotsky's Zone of Proximal Development (ZPD). However, challenges such as epistemic inaccuracies (hallucinations) and risks of cognitive dependence persist. Information verification strategies vary between highly critical and passive students. The study concludes that Generative AI serves as a valuable digital learning companion that complements rather than replaces the essential pedagogical role of the teacher.

Keywords: Generative Artificial Intelligence, Adaptive Tutor, Biology Learning, Digital Scaffolding, Case Study.

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) Generatif sebagai tutor adaptif dalam pembelajaran Biologi siswa kelas XII SMA Negeri 1 Panyabungan, meliputi bentuk dan pola pemanfaatan, fungsi pedagogis, peluang dan tantangan, serta proses evaluasi dan verifikasi informasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan desain studi kasus. Informan penelitian terdiri atas 8 siswa kelas XII sebagai informan utama (dipilih secara purposive sampling) dan 2 guru Biologi sebagai informan pendukung. Data diperoleh melalui wawancara mendalam, observasi nonpartisipan melalui demonstrasi penggunaan, dokumentasi, serta analisis artefak digital (riwayat percakapan chat history, prompt, dan tangkapan layar). Data dianalisis menggunakan model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña (kondensasi data, penyajian data, serta penarikan kesimpulan dan verifikasi). Hasil penelitian menunjukkan bahwa AI Generatif dimanfaatkan untuk memahami materi Biologi yang sulit, menyederhanakan penjelasan istilah ilmiah, mencari contoh kontekstual, membuat rangkuman, menyusun latihan soal, dan memperoleh umpan balik secara cepat. Ditemukan dua pola pemanfaatan utama, yaitu pola aktif-dialogis (pengajuan pertanyaan lanjutan dan klarifikasi konseptual) serta pola pasif-pragmatis (pengambilan jawaban secara langsung). AI Generatif terbukti berfungsi sebagai digital scaffolding dalam Zone of Proximal Development (ZPD) Vygotsky. Meskipun demikian, ditemukan tantangan berupa ketidakakuratan informasi (halusinasi AI) serta risiko ketergantungan kognitif. Proses verifikasi informasi dilakukan melalui konfirmasi buku teks Kurikulum Merdeka, penjelasan guru, dan rujukan ilmiah, meskipun belum dilaksanakan secara konsisten oleh seluruh siswa. Penelitian menyimpulkan bahwa AI

Generatif berfungsi sebagai pendamping belajar digital yang bersifat komplementer dan tidak menggantikan peran pedagogis utama guru.

Kata Kunci: Artificial Intelligence Generatif, Tutor Adaptif, Pembelajaran Biologi, Digital Scaffolding, Studi Kasus.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital pada era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 telah membawa perubahan mendasar terhadap paradigma pendidikan, khususnya cara peserta didik mengakses, mengolah, dan memverifikasi informasi ilmiah. Transformasi ini semakin terakselerasi dengan hadirnya Artificial Intelligence (AI) yang memiliki kemampuan kognitif tingkat tinggi untuk mendukung proses pembelajaran interaktif (UNESCO, 2023; OECD, 2024). Salah satu cabang kecerdasan buatan yang paling disruptif adalah Artificial Intelligence Generatif (Generative AI/GenAI) berbasis Large Language Models (LLMs) seperti ChatGPT, Google Gemini, dan Microsoft Copilot. Teknologi ini mampu menghasilkan keluaran teks orisinal, penalaran konseptual, dan sintesis materi berdasarkan instruksi alami (prompt) dari pengguna (Dwivedi et al., 2023; Favero, 2024).

Dalam pembelajaran Biologi jenjang Sekolah Menengah Atas (SMA), khususnya kelas XII, peserta didik dihadapkan pada materi sains yang bersifat abstrak, kompleks, dan mencakup mekanisme biologis berskala molekuler hingga sistemik (misalnya genetika, metabolisme sel, sintesis protein, mutasi, dan evolusi) (Campbell et al., 2021; Kemdikbudristek, 2022). Karakteristik materi tersebut menuntut pemahaman representasional dan penalaran sebab-akibat (causal reasoning) yang mendalam. Namun, keterbatasan waktu tatap muka di kelas serta keragaman tingkat kecepatan belajar siswa sering kali menjadi hambatan bagi guru dalam memberikan pendampingan individual yang intensif. Kondisi ini membuka peluang besar bagi pemanfaatan AI Generatif sebagai tutor adaptif (adaptive tutor) yang fleksibel di luar jam pelajaran sekolah.

Secara teoretis, pemanfaatan AI Generatif sebagai pendamping belajar selaras dengan pandangan konstruktivisme sosial Vygotsky (1978), terutama konsep Zone of Proximal Development (ZPD) dan scaffolding. Dalam konteks digital, AI Generatif bertindak sebagai potential digital scaffolding yang memberikan dukungan bertahap berupa penyederhanaan bahasa, analogi kontekstual, pertanyaan pemandu, latihan soal, dan umpan balik langsung (Hattie & Timperley, 2007; Mollick & Mollick, 2023). Penggunaan AI secara mandiri juga berpotensi menguatkan self-regulated learning karena siswa dapat mengatur kecepatan dan ritme belajar secara mandiri (Zimmerman & Schunk, 2023).

Di sisi lain, integrasi AI Generatif menghadirkan tantangan epistemik dan pedagogis yang serius. Sifat probabilistik LLM berisiko memicu halusinasi AI (AI hallucination), yaitu penyajian informasi yang tampak meyakinkan namun tidak memiliki dasar faktual ilmiah (Kasneci et al., 2023). Dalam disiplin Biologi yang menuntut ketepatan konsep mutlak, halusinasi AI berpotensi memicu miskonsepsi fatal. Selain itu, penggunaan AI secara pasif-pragmatis tanpa pengolahan kritis dapat menyebabkan ketergantungan kognitif (cognitive dependence) dan degradasi daya pikir mandiri siswa (Tlili et al., 2023).

Fenomena ini ditemukan pada siswa kelas XII SMA Negeri 1 Panyabungan, Kabupaten Mandailing Natal. Berdasarkan studi pendahuluan, sebagian besar siswa telah mengenal dan memanfaatkan aplikasi AI Generatif berbasis percakapan untuk membantu tugas Biologi yang diampu oleh Ibu Masrayani Siregar, S.Pd. dan Ibu Mardiana Harahap, S.Pd. Namun, belum ada penelitian mendalam mengenai bagaimana siswa secara nyata menginteraksikan AI Generatif sebagai tutor adaptif, pola prompt yang digunakan, mekanisme verifikasi informasi yang dilakukan, serta bagaimana guru mengarahkan penggunaannya. Oleh karena itu, penelitian studi kasus ini bertujuan untuk menganalisis pemanfaatan AI Generatif sebagai tutor adaptif dalam pembelajaran Biologi kelas XII di SMA Negeri 1 Panyabungan, memetakan bentuk dan pola interaksi, fungsi pedagogis digital scaffolding, serta peluang dan tantangan yang menyertainya.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan kualitatif dengan jenis penelitian studi kasus (case study design) (Creswell & Poth, 2018; Yin, 2018). Pendekatan kualitatif dipilih untuk menggali secara holistik dan mendalam mengenai makna, proses interaksi, serta pengalaman autentik partisipan dalam memanfaatkan AI Generatif sebagai tutor adaptif dalam setting persekolahan nyata.

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 1 Panyabungan, Kabupaten Mandailing Natal, Provinsi Sumatera Utara, pada bulan Mei hingga Agustus 2026. Subjek dan informan penelitian dipilih secara purposive sampling berdasarkan kriteria pengalaman aktif memanfaatkan AI Generatif dalam pembelajaran Biologi. Informan penelitian terdiri atas 8 siswa kelas XII (kode S1 hingga S8) sebagai informan utama dan 2 guru Biologi kelas XII (Ibu Masrayani Siregar, S.Pd. [G1] dan Ibu Mardiana Harahap, S.Pd. [G2]) sebagai informan pendukung untuk triangulasi data (Patton, 2015).

Teknik pengumpulan data dilakukan secara komprehensif melalui empat instrumen utama: (1) Wawancara mendalam (in-depth interview) semi-terstruktur menggunakan pedoman wawancara berbasis indikator literasi AI dan scaffolding; (2) Observasi nonpartisipan melalui demonstrasi penggunaan AI Generatif oleh siswa saat memecahkan masalah Biologi; (3) Dokumentasi berupa modul ajar, perangkat pembelajaran, dan tugas siswa; serta (4) Analisis artefak digital berupa tangkapan layar (screenshot), riwayat percakapan (chat history), dan struktur prompt yang dibagikan siswa secara sukarela.

Analisis data mengacu pada model interaktif Miles, Huberman, dan Saldaña (2024) yang meliputi tiga tahapan bersiklus: kondensasi data (transkripsi, pengodean awal/initial coding, dan kategorisasi), penyajian data (data display dalam bentuk matriks tematik dan narasi terstruktur), serta penarikan dan verifikasi kesimpulan. Keabsahan data diuji melalui triangulasi sumber, triangulasi teknik, member checking, dan audit trail untuk menjamin kredibilitas, dependabilitas, dan konfirmabilitas temuan (Lincoln & Guba, 2023).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

Hasil analisis wawancara, observasi demonstrasi, dan artefak digital dari 8 informan siswa dan 2 guru Biologi SMA Negeri 1 Panyabungan mengungkapkan bahwa seluruh siswa telah memanfaatkan

AI Generatif (terutama ChatGPT dan Google Gemini) sebagai sumber bantuan belajar Biologi mandiri. Pemanfaatan tersebut mencakup berbagai aktivitas akademik sebagaimana dirangkum dalam Tabel 1.

Tabel 1. Bentuk Pemanfaatan AI Generatif dalam Pembelajaran Biologi Kelas XII

Bentuk Pemanfaatan	Informan Siswa	Deskripsi Praktik Penggunaan
Memahami Materi Sulit & Istilah	S1, S2, S3, S4, S6, S7, S8	Meminta AI menjelaskan ulang materi genetika/metabolisme dengan bahasa sederhana dan bertahap.
Mencari Contoh Kontekstual	S1, S3, S5, S6, S7, S8	Meminta contoh konkret fenomena biologis dalam kehidupan sehari-hari (misal: reaksi metabolisme Nasi -> ATP).
Menyusun Latihan Soal & Pembahasan	S1, S3, S4, S6, S8	Meminta AI membuat soal pilihan ganda/uraian sesuai topik ujian beserta pembahasan analisis kesalahan.
Membuat Rangkuman Konseptual	S1, S2, S4, S5, S6, S7, S8	Mengstraksi poin-poin inti dari teks materi yang panjang sebelum ulangan harian.
Pendampingan Tugas Mandiri	S1, S2, S3, S4, S5, S6, S8	Mencari ide awal, penjelasan kriteria tugas, dan mengoordinasikan draf jawaban sebelum diedit mandiri.

Penelitian mengidentifikasi dua pola interaksi utama yang diadopsi siswa saat berkomunikasi dengan AI Generatif, yaitu Pola Aktif-Dialogis dan Pola Pasif-Pragmatis. Perbedaan karakteristik kedua pola tersebut ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pola Interaksi Siswa dengan AI Generatif dan Karakteristik Penggunaannya

Pola Interaksi	Karakteristik Utama	Informan yang Mengadopsi
Aktif-Dialogis (Deep Learning)	Melakukan percakapan berkelanjutan melalui follow-up prompt, meminta klarifikasi istilah, meminta contoh tambahan, dan menguji penjelasan AI dengan argumen sendiri.	S1, S3, S6, S7, S8
Pasif-Pragmatis (Surface Learning)	Mengajukan satu pertanyaan awal (initial prompt) atau perintah tugas, kemudian mengambil keluaran AI secara langsung tanpa klarifikasi atau interaksi lanjutan.	S2, S4, S5 (terutama saat pengerjaan tugas)

Berdasarkan tinjauan fungsi pedagogis, AI Generatif menjalankan lima fungsi utama sebagai tutor adaptif digital: (1) Fungsi Eksplanatif (menjelaskan konsep genetika dan metabolisme secara bertahap); (2) Fungsi Scaffolding (memberikan petunjuk pemecahan masalah biologis); (3) Fungsi

Latihan (menggenerate kuis interaktif); (4) Fungsi Umpan Balik (mengoreksi letak kesalahan penalaran siswa); serta (5) Fungsi Rangkuman (menyintesis poin kunci pembelajaran).

Terkait dengan verifikasi informasi sains, penelitian menemukan adanya disparitas kemampuan kritis di kalangan siswa. Strategi verifikasi informasi yang diterapkan informan dirangkum dalam Tabel 3.

Tabel 3. Strategi Verifikasi Informasi Sains dan Kategori Literasi AI Siswa

Kategori Siswa	Strategi Verifikasi yang Dilakukan	Informan Relevan
Kelompok Kritis (Evaluative Literate)	Melakukan cross-check aktif terhadap buku teks Kurikulum Merdeka, modul ajar cetak, jurnal/sumber web terpercaya, serta mengonfirmasikan kepada guru Biologi.	S1, S3, S6, S8
Kelompok Akseptif (Low Verification)	Cenderung langsung memercayai keluaran AI karena kepercayaan berlebih (overtrust) atau hanya memeriksa secara sekilas tanpa membandingkan rujukan primer.	S2, S4, S5, S7

Pembahasan

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan AI Generatif di SMA Negeri 1 Panyabungan telah bertransformasi dari sekadar alat pencari informasi menjadi mitra dialog adaptif dalam pembelajaran Biologi. Keberadaan dua pola interaksi (aktif-dialogis dan pasif-pragmatis) mencerminkan tingkat keterlibatan kognitif yang berbeda dalam memproses informasi sains.

Dalam perspektif teoretis Vygotsky (1978), pola interaksi aktif-dialogis merepresentasikan berfungsinya AI Generatif sebagai digital scaffolding di dalam Zone of Proximal Development (ZPD). Ketika siswa mengalami kebingungan konseptual pada materi abstrak seperti hukum Mendel atau transkripsi DNA, AI memberikan bantuan kognitif sementara berupa penyederhanaan terminologi dan penahapan penjelasan. Melalui pertanyaan lanjutan, siswa secara aktif mengonstruksi pengetahuannya hingga mencapai pemahaman mandiri. Sebaliknya, pola pasif-pragmatis berisiko memicu ketergantungan kognitif (cognitive dependence) karena siswa melewati proses berpikir mandiri dan hanya memosisikan AI sebagai mesin pembuat jawaban instan (Kasneci et al., 2023; Mollick & Mollick, 2023).

Tantangan utama yang terungkap dalam penelitian ini adalah ketidakakuratan informasi (halusinasi AI) dan potensi miskonsepsi Biologi. Sebagaimana ditegaskan oleh UNESCO (2024), AI Generatif tidak memiliki pemahaman ilmiah sejati melainkan menghasilkan teks berdasarkan probabilitas statistik. Oleh karena itu, literasi AI (AI literacy) dan literasi prompt (prompt literacy) menjadi kompetensi krusial bagi siswa (Ng et al., 2024). Siswa yang memiliki literasi kritis tidak hanya terampil menyusun prompt yang spesifik dan kontekstual, melainkan juga memiliki kesadaran evaluatif untuk selalu melakukan verifikasi terhadap buku teks Kurikulum Merdeka dan arahan guru.

Hasil penelitian juga menggarisbawahi bahwa AI Generatif tidak dapat dan tidak boleh menggantikan peran guru Biologi. Guru berperan sebagai More Knowledgeable Other (MKO), validator utama, serta scaffolder pedagogis yang mengarahkan emosional, etika, dan integritas akademik siswa (Favero, 2024; Sposato, 2025). Guru di SMAN 1 Panyabungan menerapkan intervensi pedagogis berupa kewajiban bagi siswa untuk menjelaskan ulang alasan di balik jawaban AI secara lisan, sehingga AI diposisikan murni sebagai alat bantu komplementer.

Sintesis menyeluruh dari pembahasan hasil penelitian ini dirangkum dalam Matriks Sintesis Pembahasan pada Tabel 4.

Tabel 4. Matriks Sintesis Pembahasan Pemanfaatan AI Generatif Berdasarkan Teori Vygotsky

Dimensi Kajian	Temuan Empiris SMAN 1 Panyabungan	Keterkaitan Teoretis (Vygotsky/ZPD)	Sintesis & Implikasi Pedagogis
Bentuk & Pola Pemanfaatan	Siswa memanfaatkan AI untuk penjelasan materi, contoh, latihan, dan tugas dengan pola aktif-dialogis & pasif-pragmatis.	Bantuan AI bertindak sebagai support saat siswa berada di area ZPD pada materi Biologi kompleks.	AI menjadi sarana digital scaffolding; efektivitasnya sangat ditentukan oleh keterlibatan aktif siswa.
Fungsi Tutor Adaptif	AI menjalankan fungsi eksplanatif, latihan, umpan balik, dan rangkuman secara instan dan fleksibel.	Menyediakan scaffolding kognitif yang disesuaikan dengan tingkat kesulitan individu siswa.	AI berfungsi sebagai tutor pendamping digital yang bersifat personal namun terbatas pada aspek algoritmik.
Tantangan & Halusinasi	Ditemukan jawaban AI yang tidak akurat, terlalu panjang, atau bertentangan dengan buku teks.	Kesalahan informasi AI dapat merusak proses pembentukan konsep mandiri di dalam ZPD.	Diperlukan literasi AI dan strategi verifikasi ketat melalui rujukan buku teks Kurikulum Merdeka.
Risiko Ketergantungan	Penggunaan pasif berpotensi membuat siswa malas berpikir mandiri dan hanya menyalin jawaban.	Bantuan yang tidak dikurangi secara bertahap menghambat pencapaian kemandirian belajar mandiri.	Penggunaan AI wajib dikontrol melalui desain tugas berbasis pemecahan masalah dan verifikasi lisan.
Peran Utama Guru	Guru melakukan pengawasan, meminta penjelasan lisan, dan memvalidasi kebenaran konsep sains.	Guru bertindak sebagai MKO utama yang mengarahkan dan memvalidasi digital scaffolding.	AI tidak menggantikan guru; kolaborasi AI-guru menempatkan guru sebagai fasilitator dan validator utama.

KESIMPULAN DAN SARAN

Pemanfaatan Artificial Intelligence (AI) Generatif sebagai tutor adaptif dalam pembelajaran Biologi siswa kelas XII SMA Negeri 1 Panyabungan terbukti memberikan dukungan pedagogis yang fleksibel dan personal, khususnya dalam menjelaskan konsep-konsep abstrak, memberikan contoh kontekstual, menyusun latihan soal, dan memberikan umpan balik langsung. Dalam kerangka teori Vygotsky, AI Generatif berfungsi sebagai digital scaffolding di dalam Zone of Proximal Development (ZPD) yang membantu siswa mengatasi kesulitan belajar mandiri. Ditemukan dua pola interaksi utama, yaitu pola aktif-dialogis yang mendorong pemahaman konsep secara mendalam, serta pola pasif-pragmatis yang berisiko memicu ketergantungan kognitif. Meskipun menawarkan peluang

besar dalam mengakselerasi akses informasi, AI Generatif memiliki keterbatasan berupa risiko halusinasi informasi sains dan ketidakmampuan memahami kondisi emosional siswa. Proses verifikasi informasi melalui buku teks Kurikulum Merdeka dan konfirmasi guru menjadi kunci utama dalam menjaga keakuratan konsep Biologi. Penelitian ini menyimpulkan bahwa AI Generatif berfungsi secara optimal sebagai pendamping belajar digital yang bersifat komplementer dan tidak menggantikan peran pedagogis utama guru sebagai fasilitator dan validator pembelajaran.

Berdasarkan kesimpulan tersebut, disarankan: (1) Bagi siswa, hendaknya membiasakan pola interaksi aktif-dialogis serta selalu melakukan verifikasi silang terhadap buku teks dan rujukan resmi; (2) Bagi guru Biologi, perlu mengintegrasikan literasi prompt dan literasi verifikasi dalam desain penugasan kelas serta meminta klarifikasi lisan atas tugas siswa; (3) Bagi pihak sekolah, disarankan menyusun panduan etika dan regulasi pemanfaatan AI yang mendukung integritas akademik; serta (4) Bagi peneliti selanjutnya, dapat memperluas fokus kajian pada pengukuran pengaruh kuantitatif integrasi AI terhadap pemahaman konsep dan keterampilan berpikir kritis sains.

KETERBATASAN PENELITIAN

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan, antara lain: (1) Ruang lingkup subjek terfokus pada 8 siswa dan 2 guru Biologi di satu sekolah (SMA Negeri 1 Panyabungan) sehingga temuan bersifat kontekstual dan tidak dimaksudkan untuk generalisasi populasi secara kuantitatif; (2) Fokus analisis dibatasi pada AI Generatif berbasis percakapan teks (terutama ChatGPT dan Gemini) tanpa mengukur efektivitas platform AI pembuat media visual atau audio; serta (3) Pengumpulan data berbasis pada persepsi, pengakuan jujur informan, dan sampel tangkapan layar percakapan digital yang dibagikan secara terbatas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Dr. Mara Samin Lubis, M.Ed. selaku Ketua STAIN Mandailing Natal, Ibu Dr. Melda Diana Nasution, M.A. (Pembimbing II / Ketua Prodi Tadris Biologi), dan Bapak Akhrif Yahsyia, M.Hum. (Pembimbing I) atas bimbingan dan arahan yang sangat berharga. Apresiasi tinggi juga disampaikan kepada Bapak Arjun Lubis, S.Pd., M.Pd. selaku Kepala SMA Negeri 1 Panyabungan, Ibu Masrayani Siregar, S.Pd. dan Ibu Mardiana Harahap, S.Pd. selaku guru Biologi, serta seluruh siswa kelas XII yang telah berpartisipasi aktif sebagai informan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, S. K. (2024). The pillars of trustworthiness in qualitative research. *Journal of Medicine, Surgery, and Public Health*, 2, 100051. <https://doi.org/10.1016/j.glmedi.2024.100051>
- American Psychological Association. (2020). *Publication manual of the American Psychological Association* (7th ed.). American Psychological Association.
- Campbell, N. A., Urry, L. A., Cain, M. L., Wasserman, S. A., Minorsky, P. V., & Orr, R. B. (2021). *Campbell biology* (12th ed.). Pearson.

- Creswell, J. W., & Poth, C. N. (2018). Qualitative inquiry and research design: Choosing among five approaches (4th ed.). SAGE Publications.
- Daniels, H. (2023). Vygotsky and pedagogy (2nd ed.). Routledge.
- Dwivedi, Y. K., Hughes, L., Baabdullah, A. M., Ribeiro-Navarrete, S., Giannakis, M., Al-Debei, M. M., Dennehy, D., Metri, B., Buhalis, D., & Cheung, C. M. K. (2023). So what if ChatGPT wrote it? Multidisciplinary perspectives on opportunities, challenges and implications of generative conversational AI for research, practice and policy. *International Journal of Information Management*, 71, 102642. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2023.102642>
- Favero, M. (2024). Generative AI in education: Horizons and boundaries of Large Language Models in secondary schooling. *Journal of Educational Technology Systems*, 52(3), 312-329.
- Hattie, J., & Timperley, H. (2007). The power of feedback. *Review of Educational Research*, 77(1), 81-112. <https://doi.org/10.3102/003465430298487>
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., & Seidel, T. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Kemdikbudristek. (2022). Capaian pembelajaran mata pelajaran biologi fase F pada Kurikulum Merdeka. Badan Standar, Kurikulum, dan Asesmen Pendidikan Kemendikbudristek.
- Lincoln, Y. S., & Guba, E. G. (2023). Naturalistic inquiry (2nd ed.). SAGE Publications.
- Miles, M. B., Huberman, A. M., & Saldaña, J. (2024). Qualitative data analysis: A methods sourcebook (4th ed.). SAGE Publications.
- Mollick, E. R., & Mollick, L. (2023). Assigning AI: Seven approaches for using AI in class. *SSRN Electronic Journal*, 1-28. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4475995>
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2024). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 6, 100197. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100197>
- Organisation for Economic Co-operation and Development. (2024). Artificial intelligence and the future of skills. OECD Publishing.
- Patton, M. Q. (2015). Qualitative research & evaluation methods (4th ed.). SAGE Publications.
- Sposato, R. (2025). Restrukturisasi paradigma pembelajaran sains melalui kolaborasi kecerdasan buatan. *Edukasi: Jurnal Pendidikan Biologi*, 13(1), 78-89.
- Tlili, A., Shehata, B., Adarkwah, M. A., Bozkurt, A., Hickey, D. T., Huang, R., & Agyemang, B. (2023). What if the devil is my guardian angel: ChatGPT as a case study of using chatbots in education. *Smart Learning Environments*, 10(1), 15. <https://doi.org/10.1186/s40561-023-00237-x>
- UNESCO. (2023). Guidance for generative AI in education and research. UNESCO Publishing.
- UNESCO. (2024). AI and education: Guidance for policy-makers and educators. UNESCO Publishing.
- Vygotsky, L. S. (1978). Mind in society: The development of higher psychological processes. Harvard University Press.
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications: Design and methods (6th ed.). SAGE Publications.
- Zimmerman, B. J., & Schunk, D. H. (2023). Self-regulated learning and academic achievement: Theory, research, and practice (3rd ed.). Routledge.