



CHATBOT EDUKASI AI BERBASIS *LARGE LANGUAGE MODELS (LLMs)* UNTUK PROGRAM TANYA JAWAB PEMBELAJARAN SAINS DI SEKOLAH MENENGAH ATAS

Yeni Raini¹, Ika Suartika²

^{1,2}Teknologi Pendidikan, Universitas Ibn Khaldun Bogor, Indonesia

¹yenirahman0989@gmail.com, ²isuartika3@gmail.com

Abstrak

Pemanfaatan teknologi Artificial Intelligence (AI) berbasis Large Language Models (*LLMs*) dalam pendidikan menawarkan potensi besar untuk mengatasi keterbatasan belajar konvensional sehingga dapat meningkatkan pengalaman belajar yang personal dan adaptif terhadap siswa. Tujuan Penelitian ini untuk mengembangkan dan mengevaluasi kelayakan Chatbot Edukasi AI berbasis *LLMs* yang dirancang khusus untuk mendukung kegiatan tanya jawab pembelajaran Sains (Fisika, Kimia, dan Biologi) di tingkat Sekolah Menengah Atas (SMA). Chatbot AI ini dikembangkan sebagai alat bantu belajar yang dapat memberikan jawaban yang akurat, penjelasan kontekstual, dan contoh yang relevan secara real-time terhadap pertanyaan siswa di SMA Madania Bogor. Jenis penelitian yang digunakan adalah Penelitian dan Pengembangan atau Research and Development (R&D). Model Pengembangan yang digunakan khusus untuk perangkat lunak yaitu Waterfall dengan tahapan: Requirements analysis, system design, implementation, testing, deployment dan maintenance. Teknik pengumpulan data berupa observasi, wawancara, quisioner, angket dan dokumentasi. Metode dalam mengembangkan media pada penelitian ini yaitu dengan merancang arsitektur Chatbot yang sebelumnya telah dianalisis data, pemilihan dan fine-tuning *LLMs* yang sesuai untuk domain Sains, serta implementasi antarmuka pengguna yang intuitif, selanjutnya media diuji akurasi dan kelayakannya oleh expert review ahli bidang IT dan Desain dan Chatbot yang telah layak dipasang pada server atau platform dengan terus monitoring dari pengembang untuk maintenance program. Hasil penelitian ini didapatkan bahwa perangkat Chatbot AI berbasis Large Language Models (*LLMs*) efektif dalam meningkatkan kemampuan tanya jawab siswa dalam kegiatan pembelajaran sains di SMA Madania Bogor.

Kata kunci: Chatbot Edukasi, Large Language Models (*LLMs*), Tanya Jawab, Pembelajaran Sains, Sekolah Menengah Atas.

Abstract

*The use of Large Language Models (*LLMs*)-based Artificial Intelligence (AI) technology in education offers significant potential to overcome the limitations of conventional learning, thereby enhancing personalized and adaptive learning experiences for students. The purpose of this research is to develop and evaluate the feasibility of an *LLMs*-based AI Educational Chatbot specifically designed to support Q&A activities in Science (Physics, Chemistry, and Biology) learning at the senior high school (SMA) level. This AI Chatbot was developed as a learning aid that can provide accurate answers, contextual explanations, and relevant examples in real time to student questions at SMA Madania Bogor. The research method used*

is Research and Development (R&D). The development model used specifically for software is the Waterfall model, with the following stages: requirements analysis, system design, implementation, testing, deployment, and maintenance. Data collection techniques include observation, interviews, questionnaires, and documentation. The method used in this research was to design a Chatbot architecture based on previously analyzed data, select and fine-tune appropriate LLMs for the science domain, and implement an intuitive user interface. The media was then tested for accuracy and feasibility by expert review by IT and design experts. The Chatbot was then installed on a server or platform, with continuous monitoring by the developer for program maintenance. The results of this study showed that the AI Chatbot device based on Large Language Models (LLMs) was effective in improving students' question-and-answer skills during science learning activities at SMA Madania Bogor.

Keywords: Educational Chatbot, Large Language Models (LLMs), Question-and-Answer, Science Learning, High School.

I. Pendahuluan

Di tengah pesatnya momentum adopsi teknologi Artificial Intelligence (AI) di berbagai aspek khususnya pada pembelajaran sains (Fisika, Kimia, Biologi) di tingkat SMA. Permasalahan sering kali dihadapkan pada tantangan berat terutama terkait literasi dan numerasi siswa. Hal ini dilihat dari data Studi PISA 2022 yang menunjukkan bahwa sebagian besar siswa berusia 15 tahun di Indonesia memiliki kemampuan di bawah standar PISA, termasuk dalam kemampuan mengaplikasikan konsep sains yang bersifat abstrak yang mengindikasikan kesulitan mendasar dalam pemahaman konseptual. Dari sisi lain, dunia pendidikan menghadapi gelombang adopsi AI yang tak terhindarkan mengikuti perkembangan zaman era digital 4.0.

Survei menunjukkan bahwa 95% mahasiswa di Indonesia telah memanfaatkan Generative AI dalam proses pembelajaran mereka, menjadikannya tingkat adopsi tertinggi di antara 15 negara yang disurvei, sementara 65% pendidik menyatakan minat untuk menggunakan AI guna meningkatkan hasil belajar siswa. Fenomena ini membuktikan adanya permintaan tinggi terhadap alat bantu berbasis AI. Menghadapi tantangan tersebut, adopsi teknologi telah menjadi keniscayaan. Revolusi teknologi yang didorong oleh Artificial Intelligence (AI) menawarkan peluang yang transformatif, khususnya melalui perkembangan pesat Large Language Models (LLMs). Era revolusi industri 4.0 telah menempatkan teknologi AI sebagai agen perubahan utama di berbagai sektor, termasuk Pendidikan. Dalam beberapa tahun terakhir, munculnya Large Language Models (LLMs) seperti keluarga GPT, telah merevolusi kemampuan mesin dalam memahami, memproses, dan menghasilkan teks bahasa alami yang sangat koheren, kontekstual, dan menyerupai respons manusia.

Penelitian ini berfokus pada pemanfaatan kemampuan revolusioner Large Language Models (LLMs) untuk menyediakan solusi Chatbot Edukasi yang dapat menawarkan dukungan tanya jawab on-demand, feedback instan, dan penjelasan personal untuk materi sains di SMA Madania Bogor. Hal ini diharapkan dapat mengatasi kendala personalisasi dan literasi pada siswa, memanfaatkan minat siswa terhadap teknologi, dan berkontribusi dalam meningkatkan pemahaman konseptual

sains di tingkat SMA. Rumusan masalah pada penelitian ini mencakup beberapa hal yaitu: Bagaimana mengembangkan Chatbot Edukasi AI berbasis LLMs dari segi IT dan desainnya? Bagaimana peran Chatbot Edukasi AI berbasis LLMs terhadap aktivitas belajar siswa di SMA Madania Bogor? Apakah terdapat perubahan efektivitas hasil belajar siswa setelah diterapkan media Chatbot Edukasi AI berbasis LLMs?

Untuk menangani permasalahan yang diidentifikasi di atas, penelitian ini menggunakan tiga pendekatan utama, yaitu: 1) Mengembangkan media dengan Model khusus perangkat lunak Waterfall melalui tahapan merancang arsitektur Chatbot, pemilihan dan fine-tuning LLMs yang sesuai untuk domain Sains, serta implementasi antarmuka pengguna yang intuitif; 2) Menguji kelayakan materi sains dan media yang dikembangkan melalui uji expert review oleh ahli IT, dan Guru sains; 3) Menerapkan Chatbot Edukasi AI berbasis LLMs di kelas MIPA SMA Madania Bogor pada untuk mengetahui efektivitas hasil belajar siswa.

Dalam 2–3 tahun terakhir Chatbot AI berbasis LLMs telah mengubah lanskap tutor dialogis otomatis dari sekadar menjawab pertanyaan menjadi sistem pembelajaran adaptif yang memberikan penjelasan berlapis, umpan balik formatif, dan penilaian otomatis. Bukti empiris awal menunjukkan Chatbot LLMs mampu meningkatkan hasil belajar bila dirancang dengan prinsip pedagogis (scaffolding, pertanyaan berpandangan, intervensi formatif) dan dikombinasikan kontrol teknis untuk mengurangi hallucination dan bias. Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan LLMs sebagai sistem tutor cerdas memiliki dampak yang signifikan terhadap pemahaman konsep sains yang kompleks. Tinjauan literatur mengenai pendidikan sains menegaskan bahwa LLMs memiliki potensi besar untuk memperluas akses pembelajaran melalui fitur tanya-jawab dan tutor adaptif. Meski demikian, terdapat catatan kritis mengenai risiko ketergantungan siswa serta potensi munculnya kesalahan faktual jika LLMs digunakan tanpa strategi pedagogis yang eksplisit. Temuan ini juga menyoroti variabel psikologis siswa, di mana siswa dengan efikasi diri yang rendah cenderung lebih sering mengandalkan bantuan LLMs.

Kebaruan dalam penelitian ini terletak pada Chatbot LLMs yang telah berevolusi dari sistem percakapan sederhana menjadi intelligent tutoring systems yang memadukan strategi pedagogis, personalisasi adaptif dan scaffolding untuk pembelajaran sains tingkat SMA. Sistem ini juga menerobos tantangan terbesar pada sistem validitas ilmiah jawaban, alignment pedagogis, integrasi kurikulum, etika/privasi, dan penilaian otentik. Berbeda pada penelitian lain dengan sistem konvensional yang jawaban faktualnya sering kali memiliki risiko over-simplifikasi atau misrepresentasi, terutama bila tidak ada strategi pedagogis yang terstruktur atau keakuratan sumber yang diperiksa. Penelitian modern lainnya semakin menyadari risiko LLMs memberikan informasi yang terlalu sederhana atau bahkan salah jika tidak diarahkan dengan benar. Adapun Novelty pada penelitian ini terletak pada integrasi Large Language Models (LLMs) dengan metodologi pendidikan yang spesifik dan

adaptif untuk konteks pembelajaran Sains di tingkat Sekolah Menengah Atas. Kebaharuan dipetakan menjadi tiga item yakni sebagai berikut:

1. Pedagogis dan Metodologi Pembelajaran
2. Implementasi LLMs dan Teknik AI
3. Konten dan Konteks Lokal



Gambar 1 Bagan Novelty Penelitian

Kebaruan terlihat dari Integrasi Large Language Models (LLMs) dengan metodologi pendidikan yang spesifik dan adaptif untuk konteks pembelajaran sains di tingkat SMA. Aspek kebaruan tersebut dipetakan ke dalam tiga poin utama, yaitu inovasi dari sisi pedagogis dan metodologi pembelajaran, pengembangan implementasi teknik kecerdasan buatan (AI) serta model LLMs yang digunakan, serta penyesuaian terhadap konten dan konteks lokal siswa. Integrasi ini secara strategis menjawab keterbatasan penelitian terdahulu, seperti kelemahan pada rumus kompleks dan risiko halusinasi AI, dengan menggeser fungsi Chatbot dari sekadar mesin penjawab menjadi asisten pembelajaran yang mampu mendeteksi miskonsepsi serta memfasilitasi proses berpikir ilmiah siswa secara komprehensif.

II. Metode

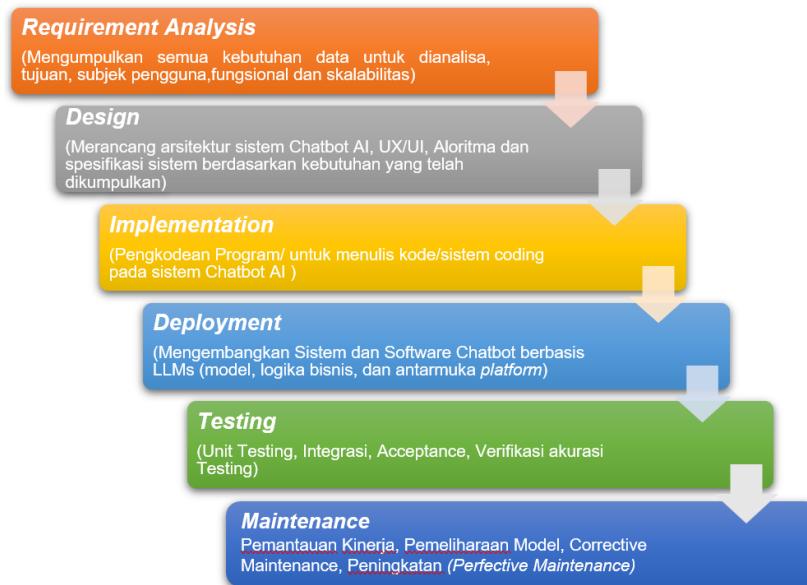
Penelitian ini dilaksanakan di Tingkat Sekolah Menengah Atas khususnya SMA Madania Bogor, yang beralamat di Jl. Telaga Kahuripan, Tegal, Bogor, Kabupaten Bogor, Jawa Barat 16330. Waktu pelaksanaan penelitian yakni pada bulan Januari s/d November 2025, dan penerapan di kelas XI MIPA 2 SMA Madania Bogor pada semester Gasal TA. 2025-2026 pada bulan Juli 2026. Jenis penelitian yang digunakan adalah Penelitian dan Pengembangan atau Research and Development (R&D). Model Pengembangan yang digunakan khusus untuk mengembangkan media perangkat lunak yaitu Waterfall Model dengan tahapan: Requirements analysis, system design, implementation, testing, deployment dan maintenance, pemilihan model ini dikhususkan untuk mengembangkan suatu media perangkat lunak atau software. Teknik dan instrument pengumpulan data yang digunakan berupa observasi, dokumentasi, analisis data, wawancara dll. Metode pada penelitian yang diterapkan yaitu analisis kebutuhan system, merancang arsitektur Chatbot, pemilihan dan fine-tuning LLMs yang sesuai untuk domain Sains, serta implementasi antarmuka

pengguna yang intuitif. Media yang dikembangkan kemudian diuji kelayakannya dengan teknik testing dan terus dievaluasi sebagai bahan monitoring maintenance.

Model Waterfall adalah metodologi pengembangan perangkat lunak yang linear dan sekuensial, di mana setiap fase harus diselesaikan sepenuhnya sebelum fase berikutnya dimulai. Pendekatan ini cocok untuk proyek dengan kebutuhan yang jelas dan terdefinisi dengan baik dari awal, seperti proyek chatbot edukasi untuk lingkungan sekolah yang spesifik. Berikut adalah tahapan model Waterfall yang pada penelitian ini:

1. Requirements Analysis (Analisis Kebutuhan): Tahap ini bertujuan untuk menentukan batasan dan spesifikasi sistem secara abstrak sebelum teknis dimulai.
2. System Design (Desain Sistem): Desain dilakukan secara menyeluruh mencakup arsitektur teknis dan alur logika.
3. Implementation (Implementasi): Pembuatan kode program dilakukan berdasarkan desain yang telah disepakati.
4. Integration & Testing (Integrasi dan Pengujian): Setelah sistem jadi, dilakukan pengujian ketat sebelum dirilis ke siswa.
5. Deployment (Penyebaran): Chatbot dikembangkan dan diluncurkan ke Audience yang akan menggunakan
6. Maintenance (Pemeliharaan): Tahap terakhir adalah monitoring, evaluasi, perbaikan yang berjalan terus-menerus.

Adapun desain model Waterfall yang digunakan dalam mengembangkan perangkat lunak/software LLMs pada Chatbot Edukasi AI digambarkan pada tahapan berikut:



Gambar 2 Desain Model Waterfall pada penelitian

III. Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini menghasilkan sebuah prototipe Chatbot edukasi berbasis Large Language Models (LLMs) yang dirancang khusus untuk mendukung program tanya jawab pembelajaran sains di Sekolah Menengah Atas (SMA). Chatbot dikembangkan menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak dengan tahapan analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian dan perawatan. Sistem Chatbot mampu merespons pertanyaan siswa terkait materi sains (Fisika, Kimia, dan Biologi) sesuai dengan kurikulum Internasional di SMA Madania Bogor, menggunakan bahasa yang komunikatif, kontekstual, dan sesuai tingkat kognitif siswa. Secara fungsional, Chatbot menyediakan fitur tanya jawab interaktif, penjelasan konsep, contoh soal, serta klarifikasi miskonsepsi. Hasil uji fungsional menunjukkan bahwa seluruh fitur utama berjalan sesuai spesifikasi desain, dengan tingkat keberhasilan eksekusi fungsi mencapai 100% pada skenario pengujian yang telah ditetapkan.

Validasi dilakukan oleh ahli materi sains dan ahli IT. Penilaian mencakup aspek kesesuaian materi, keakuratan konsep, kebahasaan, dan kelayakan media. Hasil validasi menunjukkan bahwa Chatbot memperoleh kategori “sangat layak”, dengan skor rata-rata tinggi pada aspek kejelasan penjelasan konsep sains dan kesesuaian dengan karakteristik siswa SMA. Para validator menilai bahwa penggunaan LLMs memungkinkan Chatbot memberikan jawaban yang lebih mendalam, variatif, dan adaptif dibandingkan Chatbot berbasis aturan konvensional.

Uji coba pengguna dilakukan pada siswa SMA dalam konteks pembelajaran sains. Hasil uji coba menunjukkan bahwa sebagian besar siswa mampu menggunakan Chatbot secara mandiri tanpa pendampingan intensif dari guru. Siswa menyatakan bahwa Chatbot membantu mereka memahami materi yang sulit, terutama pada topik yang memerlukan penjelasan konseptual dan penalaran ilmiah. Secara kuantitatif, hasil angket menunjukkan tingkat kepuasan pengguna berada pada kategori tinggi, terutama pada indikator kemudahan penggunaan, kecepatan respon, dan kejelasan jawaban. Secara kualitatif, siswa merasa lebih percaya diri untuk bertanya kepada Chatbot dibandingkan bertanya langsung di kelas, karena tidak adanya rasa takut atau malu.

Penelitian ini melibatkan kelas Small Group pada 30 siswa kelas XI MIPA 2 di SMA Madania Bogor yang mengikuti pembelajaran sains menggunakan Chatbot edukasi AI berbasis Large Language Models (LLMs) sebagai media pendamping tanya jawab. Pengukuran hasil belajar dilakukan melalui pre-test dan post-test untuk mengukur peningkatan pemahaman konsep sains setelah penggunaan Chatbot. Instrumen tes berupa 20 soal pilihan ganda berbasis pemahaman konsep dan penalaran ilmiah. Skor maksimum adalah 100.

Hasil pengukuran nilai Nilai Pre-test dan Post-test siswa sebelum dan sesudah penggunaan Chatbot disajikan pada Tabel berikut:

Tabel 1 Hasil Rekapitulasi Pre-test dan Post-Test

Statistik Nilai	Pre-test	Post-test
Nilai terendah	40	70
Nilai tertinggi	75	95
Rata-rata	58,4	82,6
Standar deviasi	8,7	6,9

Untuk mengetahui tingkat efektivitas penggunaan Chatbot, dilakukan analisis Normalized Gain (N-Gain) dengan rumus:

$$N\text{-Gain} = \frac{Posttest - Pretest}{100 - Pretest}$$

Hasil perhitungan menunjukkan:

Rata-rata N-Gain = 0,62

Berdasarkan kriteria Hake, nilai N-Gain tersebut berada pada kategori sedang–tinggi, yang menunjukkan bahwa Chatbot edukasi AI berbasis LLMs efektif meningkatkan pemahaman konsep sains siswa. Hasil pengukuran pemahaman konsep sains menunjukkan adanya peningkatan hasil belajar setelah penggunaan Chatbot edukasi. Siswa yang menggunakan Chatbot sebagai pendamping belajar menunjukkan skor post-test yang lebih tinggi dibandingkan skor pre-test. Hal ini mengindikasikan bahwa Chatbot berbasis LLMs berkontribusi positif dalam memperkuat pemahaman konsep, memperjelas materi, dan mendukung proses belajar mandiri.

Dari sisi rekayasa sistem, Chatbot menunjukkan performa yang stabil dalam menjawab pertanyaan beragam, baik pertanyaan faktual maupun konseptual. Sistem mampu menangani variasi bahasa alami yang digunakan siswa dan memberikan respon yang relevan secara kontekstual. Namun demikian, ditemukan keterbatasan pada beberapa pertanyaan yang bersifat sangat spesifik atau membutuhkan visualisasi eksperimen, sehingga masih memerlukan dukungan media pembelajaran lain.

Berdasarkan dari sisi rekayasa sistem, peningkatan nilai siswa didukung oleh beberapa karakteristik Chatbot, yaitu:

1. Kemampuan memahami bahasa alami siswa, sehingga pertanyaan dapat diajukan dengan bahasa sehari-hari.
2. Penyajian jawaban bertahap, dari penjelasan sederhana hingga konseptual.
3. Respon adaptif, yang memungkinkan siswa mengajukan pertanyaan lanjutan berdasarkan jawaban sebelumnya.

Siswa dengan nilai awal rendah (≤ 55) menunjukkan peningkatan paling signifikan, yang mengindikasikan bahwa Chatbot berfungsi sebagai scaffolding digital bagi siswa yang mengalami kesulitan belajar. Chatbot tidak hanya berperan sebagai alat tanya

jawab, tetapi juga sebagai asisten belajar digital yang mendukung pembelajaran mandiri, pembelajaran diferensiasi, serta penguatan literasi sains dan digital siswa. Untuk memperkuat bukti empiris, dilakukan uji perbedaan nilai menggunakan uji t berpasangan (paired sample t-test).

Hasil uji statistik menunjukkan:

Nilai sig. (p-value) < 0,05

Temuan Utama:

1. Aksesibilitas 24/7: Siswa cenderung bertanya pada chatbot pada pukul 19:00 - 21:00 (saat belajar mandiri di rumah).
2. Personalisasi: Chatbot mampu menjelaskan konsep sulit (misal: Hukum Bernoulli) dengan analogi yang disesuaikan dengan hobi siswa (misal: sepak bola atau penerbangan).
3. Efisiensi Guru: Guru melaporkan pengurangan 40% dalam menjawab pertanyaan administratif/dasar yang berulang, sehingga bisa fokus pada praktikum

Dengan demikian terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai pre-test dan post-test. Hal ini menegaskan bahwa peningkatan hasil belajar yang terjadi bukan bersifat kebetulan, melainkan dipengaruhi oleh penggunaan Chatbot edukasi AI berbasis LLMs dalam proses pembelajaran sains. Secara keseluruhan, hasil penelitian rekayasa ini menunjukkan bahwa implementasi Chatbot edukasi AI berbasis Large Language Models (LLMs) memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan pemahaman konsep sains, yang dibuktikan melalui peningkatan nilai rata-rata, N-Gain kategori sedang–tinggi, serta hasil uji statistik yang signifikan.

IV. Simpulan dan Saran

A. Simpulan

Berdasarkan bukti data nilai yang diperoleh, dapat disimpulkan bahwa Chatbot edukasi AI berbasis LLMs efektif meningkatkan hasil belajar sains siswa di kelas XI MIPA 2 SMA Madania Bogor. Sistem layak digunakan sebagai media pendamping pembelajaran dan remedial. Chatbot mendukung pembelajaran mandiri dan diferensiasi belajar di kelas sains. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Chatbot edukasi AI berbasis LLMs layak dan efektif digunakan sebagai media pendukung pembelajaran sains di SMA.

B. Saran

Disarankan agar penggunaan Chatbot edukasi AI berbasis LLMs ini dapat diterapkan di sekolah-sekolah lain juga dengan materi lain selain sains, yang sifatnya deskriptif seperti pembelajaran Bahasa atau Agama. Sehingga manfaat dalam penggunaan Chatbot AI berbasis LLMs ini lebih luas.

V. Daftar Pustaka

- Adam, S. H., & Ali, S. U. (2025). Pemanfaatan artificial intelligence sebagai media pembelajaran pada era pendidikan 4.0. *Socius: Jurnal Penelitian Ilmu-Ilmu Sosial*, 2(11), 751-755. <https://doi.org/10.5281/zenodo.15756165>
- Adiya, A. Z. D. N., Anggraeni, D. L., & Albana, I. (2024). Analisa perbandingan penggunaan metodologi pengembangan perangkat lunak (Waterfall, Prototype, Iterative, Spiral, Rapid Application Development (RAD)). *Merkurius: Jurnal Riset Sistem Informasi dan Teknik Informatika*. 2(4), 122–134. <https://doi.org/10.61132/merkurius.v2i4.148>
- Ainun. (2021). Metode Waterfall: Pengertian, kelebihan & tahapan model Waterfall. diakses dari <https://salamadian.com/metode-waterfall/>
- Azizah, Aulia dkk. (2024). Perbandingan Kapabilitas Respons ChatGPT dan Gemini Terhadap Pertanyaan Konseptual Tentang Optik. *Jurnal Pendidikan Fisika Tadulako*, 12(1), 15-26. <https://doi.org/10.22487/jpft.v12i1.3510>
- Bassil, Y. (2012). A Simulation Model for the Waterfall Software Development Life Cycle. *International Journal of Engineering & Technology*. 2(5), 1-7. <https://arxiv.org/pdf/1205.6904>
- Fadila, Farid & Raini Y. (2023). Development of Wordwall Educational Game-Based Evaluation Instruments in Mathematics Subjects in Class Iv Sdn Laladon 02 Bogor Regency, Educational Researcher Journal. 1(3), 1-13 <https://doi.org/10.71288/educationalresearcherjournal.v1i3.18>
- GoodStats. (2025). 95% Mahasiswa RI Gunakan AI dalam Proses Pembelajaran. Diakses dari <https://data.goodstats.id/statistic/95-mahasiswa-ri-gunakan-ai-dalam-proses-pembelajaran-FIm7A>
- Hadi, M. S., & Muttaqin, M. (2024). Pemanfaatan Artificial Intelligence dalam Pembelajaran Sains di Era Digital. Jakarta: PT Raja Grafindo Persada.
- Hasebrook, J. P. (2025). Detecting Student Intent for Chat-Based Intelligent Tutoring Systems. In *Explainable AI for Intelligent Tutoring Systems* (pp. 71-87). Springer Nature.
- Hwang, G. J., & Fu, Q. K. (2025). A Comprehensive Review of AI-based Intelligent Tutoring Systems: From Traditional Methods to LLM-Powered Applications. *International Journal of Cardiology Cardiovascular Risk and Prevention*, 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.combiomed.2025.110594>
- Kangiwa, H., et al. (2024). Integrasi Teknologi AI dalam Pembelajaran STEM di Sekolah Menengah. *Jurnal Ilmiah Matematika, Kebumian dan Angkasa*. 4;2 (6) <https://doi.org/10.62383/bilangan.v2i6.320>
- Kasneci, E., et al. (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>
- Labadze, K., & Bokhua, N. (2024). From intent-based Chatbots to LLM-powered teaching assistants. *Results in Engineering*. 22, 101968. <https://doi.org/10.1016/j.rin.2024.100101>
- Lewis, P., Perez, E., Piktus, et all. (2020). Retrieval-Augmented Generation for

- Knowledge-Intensive NLP Tasks. Advances in Neural Information Processing Systems (NeurIPS).
- Noy, N. F., & McGuinness, D. L. (2001). *Ontology Development 101: A Guide to Creating Your First Knowledge Graph*. Stanford University.
- OECD. (2022) Results Factsheets Indonesia. OECD (Organisation for Economic Co-Operation and Development) Publication. Diakses dari https://www.oecd.org/en/publications/pisa-2022-results-volume-i-and-ii-country-notes_ed6fbcc5-en/indonesia_c2e1ae0e-en.html
- Pan, S., Luo, L., Wang, Y., Chen, C., Wang, J., & Wu, X. (2024). Unifying Large Language Models and Knowledge Graphs: A Roadmap. *IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering*.
- Pressman, R. S. (2015). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (edisi ke-8). McGraw-Hill Education
- Raini, Yeni, Suyitno, M, Paristiowati, M. (2024). The Development of Augmented Reality-Based Marker-Based Encyclopedia with Sets Approach (Science, Environment, Technology and Society) to Improve Digital Skills of Educational Technology Students, Proceding Beyond Intelligence IFERP. <https://dx.doi.org/10.2139/ssrn.5147870>
- Raini, Yeni & Abidin Zainal. (2024). Marker-Based Module using the SETS Approach (Science, Environment, Technology and Society) Learning Media Subject Educational Technology Study. Proceedings of the 2nd Ibn Khaldun International Conference on Applied and Social Sciences (IICASS); https://doi.org/10.2991/978-2-38476-299-6_12
- Raini, Yeni dkk. (2025). *Teknologi pendidikan: Teori dan Aplikasi*. Padang: Azzia Karya Bersama.
- Raini, Yeni. (2024). Pengembangan Model Pembelajaran EX2I Pada Mata Kuliah Biomedik Dengan Pendekatan Steam Berbasis Augmented Reality (Doctoral Dissertation, Universitas Negeri Jakarta).
- Raini, Yeni., Muslim, S., & Paristiowati, M. (2024). Development of Basic Biomedical Learning Model with STEAM (Science, Technology, Engineering, Art and Mathematics) Approach Based on Augmented Reality. *Journal Library of Progress-Library Science, Information Technology & Computer*. 44(3). <https://doi.org/10.48165/bapas.2024.44.2.1>
- Ramdoni, Lalu et al. (2025). Optimalisasi Layanan Sistem Informasi Mahasiswa dengan Integrasi Telegram: Chatbot Retrieval-Augmented-Generation berbasis Large Language Model. *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer dan Aplikasinya (JTIKA)*. 7(1),121-131. <https://doi.org/10.29303/jtika.v7i1.459>
- Richey, R. C., & Klein, J. D. (2007). *Design and Development Research: Methods, Strategies, and Visualization*. Routledge.
- Roviati, S., Priyanto, A., & Sumardi. (2024). Pemanfaatan ChatGPT sebagai Media Pembelajaran Teks Biografi dalam Pembelajaran Bahasa Indonesia Kelas X. *Jurnal Al-Qalam*. 25(1),456-463. <https://doi.org/10.64365/muradik.v1i4.121>
- Satria, Fitrah, Hersanto Fajri dkk. (2023). Perancangan UI/UX Aplikasi Sensus Pajak

- Daerah DKI Jakarta berbasis Mobile dengan Metode User Centered Design. *Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 2(9), 1-19. <https://jurnal.arkainstitute.co.id/index.php/nautical/article/view/618/1097>
- Sommerville, I. (2011). *Software Engineering* (9th ed.). Boston, MA: Pearson Education
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Telkom University. (2025) Metode Waterfall dalam Pengembangan Sistem: Definisi, Tahapan, dan Contohnya. diakses dari <https://mif.telkomuniversity.ac.id/metode-waterfall-dalam-pengembangan-sistem-definisi-tahapan-dan-contohnya/>
- Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in Society: The Development of Higher Psychological Processes*. Harvard University Press.
- Widyasari, E., Murtiyasa, B., & Supriyanto, E. (2024). Revolusi Pendidikan dengan Artificial Intelligence: Peluang dan Tantangan. *Jurnal Alwatzikhoebillah*. 10(2). <https://doi.org/10.37567/jie.v10i2.3405>.