



## Penerapan *Bayesian Knowledge Tracing* pada Game Ethno Run sebagai Media Pembelajaran Matematika Adaptif untuk Siswa Kelas 3-5 Sekolah Dasar

Alvi Setya Kurnia Dewi<sup>1\*</sup>, Anita Qoiriah<sup>2</sup>

<sup>1-2</sup>Teknik Informatika, Universitas Negeri Surabaya, Indonesia

[alvisetya.22002@mhs.unesa.ac.id](mailto:alvisetya.22002@mhs.unesa.ac.id)<sup>1</sup>, [anitaqoiriah@unesa.ac.id](mailto:anitaqoiriah@unesa.ac.id)<sup>2</sup>

\*Penulis Korespondensi: [alvisetya.22002@mhs.unesa.ac.id](mailto:alvisetya.22002@mhs.unesa.ac.id)

**Abstract.** Mathematics is a core subject that develops critical thinking skills; however, many third to fifth-grade elementary school students face difficulties with conventional teaching methods that tend to be uniform and less adaptive. This study aims to develop and implement a mobile-based educational game, "Ethno Run," which integrates the Bayesian Knowledge Tracing (BKT) algorithm to provide an adaptive learning experience. The method used is Research and Development (R&D) with the Multimedia Development Life Cycle (MDLC) framework. The system uses BKT to track students' mastery in real-time by analyzing their responses to pre-tests and exercises within the game, which then adjusts the difficulty level and focuses the post-test on areas identified as weak, such as arithmetic operations and geometry. The findings show that this adaptive approach significantly improves learning outcomes, with the average score increasing from 44.33 on the pre-test to 85.33 on the post-test among 30 students. This study concludes that the integration of Artificial Intelligence through BKT effectively personalizes learning, enhances student motivation, and provides data-driven insights for teachers regarding students' progress. The implication of this research is that adaptive game-based learning serves as a feasible interactive solution to bridge the gap in conventional basic mathematics education.

**Keywords:** Adaptive Learning; Artificial Intelligence; Bayesian Knowledge Tracing; Educational Game; Mathematics Education

**Abstrak.** Matematika merupakan mata pelajaran inti yang membangun keterampilan berpikir kritis, namun banyak siswa sekolah dasar kelas 3–5 mengalami kesulitan dengan metode pengajaran konvensional yang cenderung seragam dan kurang adaptif. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan game edukasi berbasis seluler, "Ethno Run," yang mengintegrasikan algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* (BKT) untuk memberikan pengalaman belajar yang adaptif. Metode yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan kerangka kerja Multimedia Development Life Cycle (MDLC). Sistem menggunakan BKT untuk melacak penguasaan siswa secara *real-time* dengan menganalisis respons terhadap pre-test dan latihan di dalam game, yang kemudian menyesuaikan tingkat kesulitan serta memfokuskan post-test pada area yang diidentifikasi lemah, seperti operasi aritmatika dan geometri. Temuan menunjukkan bahwa pendekatan adaptif ini secara signifikan meningkatkan hasil belajar, dengan kenaikan nilai rata-rata dari 44,33 pada pre-test menjadi 85,33 pada post-test di antara 30 siswa. Penelitian ini menyimpulkan bahwa integrasi Kecerdasan Buatan melalui BKT secara efektif mempersonalisasi pembelajaran, meningkatkan motivasi siswa, dan memberikan wawasan berbasis data bagi guru mengenai kemajuan siswa. Implikasi dari penelitian ini adalah pembelajaran berbasis game adaptif berfungsi sebagai solusi interaktif yang layak untuk menjembatani kesenjangan dalam pendidikan matematika dasar konvensional.

**Kata kunci:** Bayesian Knowledge Tracing; Ethno Run; Game Edukasi; Matematika Adaptif; Sekolah Dasar

### 1. LATAR BELAKANG

Matematika merupakan salah satu mata pelajaran inti yang diajarkan sejak jenjang pendidikan dasar karena perannya yang krusial dalam membangun kemampuan berpikir logis, kritis, dan sistematis (Sari & Nugroho, 2021). Namun, pada praktiknya, banyak siswa Sekolah Dasar (SD) khususnya di kelas 3 hingga 5 masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep-konsep matematis. Hal ini sering kali disebabkan oleh metode pengajaran konvensional yang cenderung satu arah dan kurang mampu menyesuaikan dengan kecepatan belajar setiap

individu yang berbeda-beda. Penguasaan konsep yang lemah di tingkat dasar dapat menghambat perkembangan akademik siswa pada jenjang pendidikan selanjutnya.

Penggunaan teknologi melalui pendekatan *game-based learning* telah terbukti secara signifikan dapat meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan hasil belajar siswa melalui interaksi yang menyenangkan (Behnamnia et al., 2022). Meskipun demikian, terdapat celah penelitian (*gap analysis*) pada pengembangan game edukasi saat ini; mayoritas media pembelajaran berbasis game yang tersedia masih bersifat statis dan menawarkan tingkat kesulitan yang seragam untuk seluruh siswa tanpa mempertimbangkan kemampuan awal mereka. Kurangnya sifat adaptif ini menyebabkan game tidak mampu memberikan intervensi yang tepat sasaran pada area kelemahan spesifik siswa (Wang et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan sebuah sistem cerdas yang mampu memodelkan pengetahuan siswa secara dinamis selama proses pembelajaran berlangsung.

Penelitian ini mengusulkan solusi melalui penerapan algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* ke dalam game edukasi bernama "Ethno Run". Algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* merupakan model psikometrik yang efektif untuk memprediksi probabilitas penguasaan konsep oleh siswa berdasarkan riwayat respon mereka secara *real-time* (Kang et al., 2022). Dengan mengintegrasikan *Bayesian Knowledge Tracing*, game "Ethno Run" dapat bertransformasi menjadi media pembelajaran adaptif yang mampu menyesuaikan tingkat tantangan dan memberikan materi pengayaan atau remedial secara otomatis sesuai kebutuhan personal siswa (Takami et al., 2024). Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan game "Ethno Run" sebagai media pembelajaran matematika yang adaptif serta menguji efektivitasnya dalam meningkatkan hasil belajar siswa kelas 3-5 SD. Melalui pendekatan ini, diharapkan proses belajar matematika menjadi lebih efisien dan personal bagi setiap siswa.

Meskipun potensi *game-based learning* sangat besar, tantangan utama terletak pada bagaimana teknologi tersebut dapat memberikan umpan balik yang presisi terhadap tingkat kompetensi siswa yang dinamis. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa model pembelajaran yang tidak personal cenderung menyebabkan siswa dengan kemampuan rendah merasa tertinggal, sementara siswa berkemampuan tinggi merasa tidak tertantang (Xu et al., 2023). Integrasi algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* dalam game "Ethno Run" menjadi krusial karena kemampuannya dalam melakukan estimasi penguasaan materi secara berkelanjutan, sehingga sistem dapat memberikan jalur pembelajaran yang unik bagi setiap individu (Šarić-Grgić et al., 2024). Dengan menggabungkan unsur kearifan lokal dalam desain game dan kecerdasan buatan dalam sistem adaptivitasnya, penelitian ini diharapkan mampu menciptakan

lingkungan belajar yang inklusif dan efektif bagi siswa sekolah dasar dalam menguasai konsep matematika (Liao et al., 2024).

## 2. KAJIAN TEORITIS

Pengembangan media pembelajaran berbasis game atau *game-based learning* dalam pendidikan matematika tidak hanya bertujuan untuk hiburan, tetapi sebagai alat kognitif yang memfasilitasi konstruksi pengetahuan melalui lingkungan yang interaktif. *game-based learning* yang efektif harus mampu menyeimbangkan elemen permainan dengan tujuan pedagogis agar motivasi belajar intrinsik siswa dapat terjaga secara konsisten (Bustaren, Firmansyah, & Aulya, 2023). Dalam konteks sekolah dasar, visualisasi konsep abstrak ke dalam elemen grafis dalam game sangat membantu siswa dalam memahami logika aritmatika dan geometri secara lebih intuitif (Enjelita et al., 2023). Namun, tantangan utama dalam *game-based learning* adalah efektivitas konten yang sering kali tidak selaras dengan kemajuan pemahaman individu secara spesifik.

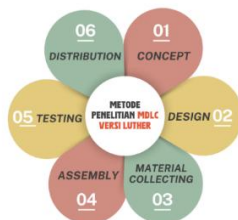
Sistem pembelajaran adaptif muncul sebagai solusi untuk menyediakan jalur belajar yang dipersonalisasi. Personalisasi ini sering kali mengandalkan teknik kecerdasan buatan untuk mengestimasi status pengetahuan siswa berdasarkan perilaku mereka saat berinteraksi dengan sistem (Wang et al., 2021). Salah satu model psikometrik yang paling mapan untuk tujuan ini adalah *Bayesian Knowledge Tracing*. *Bayesian Knowledge Tracing* bekerja dengan cara memodelkan pengetahuan siswa sebagai variabel laten dan memperbaruinya setiap kali siswa memberikan jawaban terhadap sebuah soal (Shchepakina et al., 2023). Melalui empat parameter utama *probability of knowing*, *leak*, *slip*, dan *guess* *Bayesian Knowledge Tracing* mampu memberikan prediksi yang akurat mengenai apakah seorang siswa telah benar-benar menguasai suatu kompetensi sebelum melanjutkan ke tingkat yang lebih sulit (Šarić-Grgić et al., 2024).

Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penerapan algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* dalam lingkungan belajar digital secara signifikan dapat mengurangi beban kognitif siswa dengan cara mengeliminasi materi yang sudah dikuasai dan memfokuskan pada area yang membutuhkan perbaikan (Liao et al., 2024). Selain itu, penggunaan data dari *Bayesian Knowledge Tracing* memungkinkan guru untuk mendapatkan laporan diagnostik yang lebih detail mengenai perkembangan setiap siswa dibandingkan dengan penilaian konvensional (Takami et al., 2024). Integrasi aspek kearifan lokal (etnomatematika) ke dalam narasi game juga ditemukan dapat meningkatkan relevansi materi bagi siswa, sehingga proses internalisasi konsep matematika menjadi lebih alami dan bermakna (Putri et al., 2022). Dengan landasan

teori ini, penelitian ini memosisikan penggunaan *Bayesian Knowledge Tracing* pada game "Ethno Run" sebagai upaya strategis untuk menciptakan platform edukasi yang tidak hanya menghibur tetapi juga cerdas secara pedagogis.

### 3. METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan jenis penelitian pengembangan atau *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk menghasilkan produk berupa game edukasi adaptif dan menguji efektivitasnya. Model pengembangan yang digunakan adalah *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) yang terdiri dari enam tahap: *concept, design, material collecting, assembly, testing, dan distribution*. Penggunaan model MDLC dipilih karena sangat relevan untuk pengembangan aplikasi multimedia interaktif seperti game "Ethno Run" yang mengintegrasikan aset visual, audio, dan algoritma kompleks (Bustaren et al., 2023).



**Gambar 1.**Metode Penelitian MDLC Versi Luther

Keterangan gambar 1 adalah (1)Concept : Pada tahap awal ini, peneliti melakukan perancangan konsep dasar game edukasi "Ethno Run" yang difokuskan pada integrasi nilai etnomatematika dan sistem pembelajaran adaptif. Peneliti mengidentifikasi kebutuhan akan media pembelajaran yang tidak hanya menarik secara visual bagi siswa kelas 3-5 SD, tetapi juga mampu memberikan tantangan yang sesuai dengan tingkat kemampuan masing-masing individu. Konsep utama aplikasi ini adalah menggunakan algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* sebagai mesin kecerdasan buatan yang secara dinamis melacak status pengetahuan siswa. Tujuan pengembangan ini adalah untuk menciptakan lingkungan belajar yang personal, di mana tingkat kesulitan soal dan alur permainan berubah secara otomatis berdasarkan probabilitas penguasaan materi oleh siswa, guna mengatasi rendahnya efektivitas metode pembelajaran matematika konvensional yang cenderung seragam. (2)Design : Tahap ini merupakan proses penerjemahan konsep ke dalam rancangan teknis yang lebih konkret namun sederhana. Peneliti menyusun *flowchart* permainan dan *storyboard* untuk memvisualisasikan antarmuka game serta elemen etnomatematika yang akan muncul. Selain rancangan visual, pada tahap ini juga dilakukan perancangan logika algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* yang

akan mengatur alur soal secara adaptif. Fokus utamanya adalah merancang struktur navigasi dan mekanisme umpan balik agar siswa kelas 3-5 SD dapat mengoperasikan game dengan mudah tanpa mengurangi esensi tantangan matematis yang diberikan. (3)Material Collecting: Peneliti mengumpulkan seluruh aset yang dibutuhkan untuk membangun game, meliputi aset grafis bertema budaya (etno), *background*, efek suara, serta bank soal matematika untuk kelas 3, 4, dan 5 SD. Semua materi ini dipilih dan disesuaikan agar relevan dengan kurikulum pendidikan dasar dan mendukung implementasi sistem adaptif. (4) Assembly: Tahap ini merupakan proses pengintegrasian seluruh elemen yang telah dikumpulkan ke dalam perangkat lunak *game engine*. Peneliti melakukan pengkodean (*coding*) untuk menyatukan aset visual etnomatematika dengan logika permainan. Fokus utama pada tahap ini adalah implementasi algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* ke dalam sistem, sehingga game dapat berfungsi secara adaptif dalam menilai jawaban siswa dan memperbarui status pengetahuan mereka secara otomatis untuk menentukan alur soal berikutnya. (5)Testing: Tahap ini dilakukan untuk memastikan game "Ethno Run" berfungsi dengan baik dan efektif sebagai media pembelajaran. Pengujian dimulai dengan uji fungsionalitas (Alpha Testing) untuk mendeteksi kesalahan teknis atau bug. Selanjutnya, dilakukan pengujian kepada pengguna (Beta Testing) melalui desain *one-group pretest-posttest* pada 30 siswa kelas 3-5 SD. Data hasil tes dianalisis untuk melihat peningkatan hasil belajar, di mana ditemukan kenaikan signifikan dari rata-rata nilai 44,33 (pre-test) menjadi 85,33 (post-test). (6)Distribution: Tahap terakhir adalah penyebaran aplikasi kepada target pengguna. Setelah dinyatakan valid dan efektif melalui serangkaian pengujian, game "Ethno Run" dikemas dalam format yang mudah diakses oleh siswa dan guru di SDN Karangpilang 1. Pada tahap ini, peneliti juga menyusun kesimpulan akhir mengenai keberhasilan implementasi algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* serta memberikan rekomendasi bagi pihak sekolah agar media pembelajaran adaptif ini dapat digunakan secara berkelanjutan untuk mendukung kurikulum matematika.

$$\text{Equation (1):} \\ p(L_1)_u^k = p(L_0)^k \dots\dots\dots (1)$$

$$\text{Equation (2):} \\ p(L_t| \text{obs} = \text{correct})_u^k = \frac{p(L_t)_u^k \cdot (1-p(S)^k)}{p(L_t)_u^k \cdot (1-p(S)^k) + (1-p(L_t)_u^k) \cdot p(G)^k} \dots\dots (2)$$

$$\text{Equation (3):} \\ p(L_t| \text{obs} = \text{wrong})_u^k = \frac{p(L_t)_u^k \cdot p(S)^k}{p(L_t)_u^k \cdot p(S)^k + (1-p(L_t)_u^k) \cdot (1-p(G)^k)} \dots\dots (3)$$

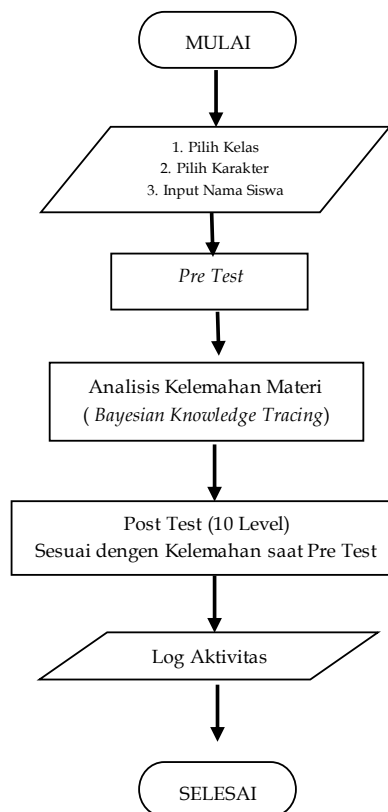
$$\text{Equation (4):} \\ p(L_{t+1})_u^k = p(L_t| \text{obs})_u^k + (1 - p(L_t| \text{obs})_u^k) \cdot p(T)^k \dots\dots\dots (4)$$

$$\text{Equation (5):} \\ p(C_{t+1})_u^k = p(L_{t+1})_u^k \cdot (1 - p(S)^k) + (1-p(L_{t+1})_u^k) \cdot p(G)^k \dots\dots (5)$$

**Gambar 2.** Rumus Model BKT

Algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* digunakan untuk memodelkan proses belajar siswa sebagai Hidden Markov Model. Sistem memperbarui estimasi penguasaan materi setiap kali siswa menjawab soal berdasarkan empat parameter probabilitas berikut:

- $P(L^0)$  atau Initial Knowledge: Probabilitas awal bahwa siswa sudah memahami suatu konsep sebelum mulai mengerjakan soal dalam game.
- $P(T)$  atau Transition Probability: Probabilitas siswa yang sebelumnya belum paham menjadi paham setelah mendapatkan kesempatan belajar (setelah menjawab soal).
- $P(G)$  atau Guess Probability: Probabilitas siswa menjawab benar secara kebetulan, padahal sebenarnya dia belum menguasai konsep tersebut.
- $P(S)$  atau Slip Probability: Probabilitas siswa menjawab salah karena kecerobohan atau kesalahan teknis, padahal sebenarnya dia sudah menguasai konsep tersebut.



**Gambar 3.** Alur Akses Soal Ethno Run

#### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilaksanakan di SDN Karangpilang 1 pada semester genap tahun ajaran 2024/2025. Proses pengumpulan data dilakukan selama satu bulan terhadap 30 siswa kelas 3-5 SD melalui metode observasi, pengisian kuesioner, serta pelaksanaan *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur efektivitas sistem adaptif yang dikembangkan.

## Hasil Implementasi Algoritma BKT pada Game Ethno Run

Berdasarkan hasil pengujian sistem, algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* berhasil diintegrasikan untuk memantau status pengetahuan siswa secara dinamis. Data interaksi siswa selama bermain diolah menggunakan empat parameter utama: Initial Knowledge  $P(L^0)$ , Transition  $P(T)$ , Guess  $P(G)$ , dan Slip  $P(S)$ . Melalui parameter ini, game mampu membedakan antara siswa yang benar-benar memahami konsep dengan siswa yang menjawab benar karena faktor keberuntungan (guess). Hal ini selaras dengan konsep dasar *Bayesian Knowledge Tracing* yang menyatakan bahwa pemodelan variabel laten dapat memberikan estimasi kemampuan siswa yang lebih akurat dibandingkan penilaian statis (Šarić-Grgić et al., 2024).

### Analisis Hasil Belajar Siswa

Hasil analisis data menunjukkan adanya peningkatan kompetensi matematika siswa yang signifikan setelah menggunakan game "Ethno Run". Perbandingan nilai rata-rata sebelum dan sesudah perlakuan dapat dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Hasil Capaian Belajar Siswa

| Kategori Tes | Nilai Rata-rata | Skor Minimal | Skor Maksimal |
|--------------|-----------------|--------------|---------------|
| Pre-test     | 44.33           | 25           | 65            |
| Post-test    | 85.33           | 75           | 100           |

Berdasarkan Tabel 1, terjadi kenaikan nilai rata-rata sebesar 41,00 poin. Hasil uji-t berpasangan (*paired sample t-test*) menunjukkan nilai signifikansi (2-tailed) sebesar 0,000 (< 0,05), yang berarti terdapat perbedaan nyata antara hasil belajar sebelum dan sesudah penggunaan game. Temuan ini mendukung penelitian sebelumnya oleh Kang et al. (2022) yang menyatakan bahwa sistem pembelajaran adaptif mampu mempercepat penguasaan konsep dengan memberikan tantangan yang sesuai dengan zona perkembangan proksimal siswa.

### Interpretasi dan Implikasi

Kesesuaian hasil penelitian ini dengan konsep pembelajaran adaptif menunjukkan bahwa penggunaan algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* efektif dalam mempersonalisasi konten pembelajaran. Siswa tidak lagi merasa terbebani oleh soal yang terlalu sulit atau bosan dengan soal yang terlalu mudah, karena sistem secara otomatis melakukan penyesuaian. Implikasi praktis dari hasil ini adalah bahwa media pembelajaran berbasis AI seperti "Ethno Run" dapat digunakan sebagai asisten guru dalam melakukan pemetaan kemampuan siswa secara objektif dan *real-time*. Secara teoritis, penelitian ini memperkuat posisi model *Bayesian Knowledge Tracing* sebagai algoritma yang handal untuk lingkungan *game-based learning* di tingkat pendidikan dasar.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa pengembangan game edukasi "Ethno Run" dengan integrasi algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* secara efektif mampu menjawab tantangan pembelajaran matematika yang adaptif bagi siswa sekolah dasar. Berdasarkan hasil pengujian, sistem kecerdasan buatan dalam game berhasil melacak status pengetahuan siswa secara *real-time* dan memberikan intervensi pembelajaran yang sesuai dengan tingkat kemampuan individu. Fakta ini didukung oleh peningkatan signifikan pada hasil belajar siswa, di mana nilai rata-rata meningkat drastis dari 44,33 menjadi 85,33. Hal ini membuktikan bahwa pendekatan pembelajaran berbasis game yang dipersonalisasi tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep matematis, tetapi juga mampu menjaga motivasi belajar siswa melalui tantangan yang dinamis dan relevan dengan budaya lokal.

Meskipun memberikan hasil yang positif, penelitian ini memiliki keterbatasan pada jumlah sampel yang terbatas di satu sekolah dan cakupan materi yang hanya berfokus pada operasi dasar dan geometri tingkat awal. Oleh karena itu, peneliti menyarankan bagi para tenaga pendidik untuk mulai mengadopsi media pembelajaran berbasis kecerdasan buatan guna membantu pemetaan kemampuan siswa yang lebih objektif. Untuk penelitian selanjutnya, direkomendasikan untuk memperluas cakupan materi kurikulum serta melakukan uji coba pada skala populasi yang lebih besar dan beragam guna menguji konsistensi algoritma *Bayesian Knowledge Tracing* dalam berbagai kondisi lingkungan belajar.

## DAFTAR REFERENSI

- Ardian, D., Santika, S., & Hermanto, R. (2024). Pengembangan simulator pengajaran konsep matematika berbantuan Geometer's Sketchpad. *Jurnal Penelitian Pendidikan Dan Pengajaran Matematika*, 10(2), 92–107.
- Badrinath, A., & Pardos, Z. (2025). Optimizing Bayesian Knowledge Tracing with Neural Network Parameter Generation. *Journal of Educational Data Mining*, 17(1), 41–65. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14707987>
- Badrinath, A., Wang, F., & Pardos, Z. (2021). pyBKT: An accessible Python library of Bayesian Knowledge Tracing models. *Proceedings of the 14th International Conference on Educational Data Mining, EDM 2021*, 468–474.
- Gómez Gandía, J. A., Gavrila Gavrila, S., de Lucas Ancillo, A., & del Val Núñez, M. T. (2025). Towards sustainable business in the automation era: Exploring its transformative impact from top management and employee perspective. *Technological Forecasting and Social Change*, 210, 123908. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2024.123908>
- Gustiana, I., Nugraha, D. A., & Santika, S. (2024). Pengembangan media pembelajaran berbantuan Ispring Suite 11 untuk melatih kemampuan representasi matematis pada



- materi operasi bilangan pecahan. *JP3M (Jurnal Penelitian Pendidikan Dan Pengajaran Matematika)*, 10(2), 158–167. <https://doi.org/10.37058/jp3m.v10i2.12834>
- Lee, V. R., Pope, D., Miles, S., & Zárate, R. C. (2024). Cheating in the age of generative AI: A high school survey study of cheating behaviors before and after the release of ChatGPT. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100253. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100253>
- Meriana Milla, V., Kore Dima, V. A., & Setiawi, A. P. (2025). Penerapan algoritma K-Means untuk mengidentifikasi minat belajar siswa di Sekolah Dasar Negeri Puu Naga. *Modem: Jurnal Informatika Dan Sains Teknologi*, 3(4 SE-Articles), 1–12. <https://journal.aptii.or.id/index.php/Modem/article/view/630>
- Ng, D. T. K., Leung, J. K. L., Chu, S. K. W., & Qiao, M. S. (2021). Conceptualizing AI literacy: An exploratory review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 2, 100041. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2021.100041>
- Papakostas, C., Troussas, C., Krouska, A., & Sgouropoulou, C. (2025). Integrating Bayesian Knowledge Tracing and Human Plausible Reasoning in an adaptive augmented reality system for spatial skill development. *Information (Switzerland)*, 16(6), 429. <https://doi.org/10.3390/info16060429>
- Song, Q., & Luo, W. (2023). SFBKT: A synthetically forgetting behavior method for knowledge tracing. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(13), 7704. <https://doi.org/10.3390/app13137704>
- Su, J., Ng, D. T. K., & Chu, S. K. W. (2023). Artificial Intelligence (AI) literacy in early childhood education: The challenges and opportunities. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 4(October 2022), 100124. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2023.100124>
- Sulistiyani, S., Franita, Y., & Pradanti, P. (2024). Efektivitas model pembelajaran Missouri Mathematics Project menggunakan strategi Think Talk Write berbantuan LKPD terhadap kemampuan pemecahan masalah. *JP3M (Jurnal Penelitian Pendidikan Dan Pengajaran Matematika)*, 10(2), 97–110. <https://doi.org/10.37058/jp3m.v10i2.11657>
- Takami, K., Flanagan, B., Dai, Y., & Ogata, H. (2024). Evaluating the effectiveness of Bayesian Knowledge Tracing model-based explainable recommender. *International Journal of Distance Education Technologies*, 22(1), 337600. <https://doi.org/10.4018/IJDET.337600>
- Tan, X., Cheng, G., & Ling, M. H. (2025). Artificial intelligence in teaching and teacher professional development: A systematic review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 8(October 2024), 100355. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2024.100355>
- Wang, W., Khalajzadeh, H., Grundy, J., Madugalla, A., McIntosh, J., & Obie, H. O. (2024). Adaptive user interfaces in systems targeting chronic disease: A systematic literature review. *User Modeling and User-Adapted Interaction*, 34(3), 853–920. <https://doi.org/10.1007/s11257-023-09384-9>
- Zhao, H., Košmrlj, A., & Datta, S. S. (2023). Chemotactic motility-induced phase separation. *Physical Review Letters*, 131(11), 118301. <https://doi.org/10.1103/PhysRevLett.131.118301>