

RANCANG BANGUNG SMART TUTOR STEM BERBASIS LEARNING ANALYTICS UNTUK Mendukung SDG 4 Pendidikan Berkualitas di SD GMIM 23 MANADO

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A LEARNING ANALYTICS-BASED STEM SMART TUTOR TO SUPPORT SDG 4: QUALITY EDUCATION AT GMIM 23 ELEMENTARY SCHOOL IN MANADO

Bertrand Ifanema Zega¹, Abel Enricko Dominique Sugiantho², Hendriko Mauliate Maraden
Pakpahan³, Christopel Hamonangan Simanjuntak⁴, Marike Amelda Silvia Kondoj⁵

Politeknik Negeri Manado^{1,2,3,4,5}

bertrandzega4@gmail.com¹, enricoabel26@gmail.com², endriko.pakpahan15@gmail.com³,
christopel.simanjuntak@polimdo.ac.id⁴, marikekondoj@polimdo.ac.id⁵

ABSTRACT

The low proportion of elementary school students achieving minimum proficiency in STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) learning has become a significant challenge to achieving Sustainable Development Goal (SDG) 4 on Quality Education, particularly Indicator 4.1.1. PISA 2022 data placed Indonesia 70th out of 79 participating countries in mathematics performance, while the 2023 National Assessment showed that more than 60% of elementary school students had not achieved minimum numeracy competency. This study aims to design and develop a Smart Tutor STEM platform based on learning analytics using the K-Means Clustering algorithm to provide personalized adaptive learning experiences for students in grades 4–6 at SD GMIM 23 Manado. The method employed is Design Science Research (DSR), consisting of six stages: problem identification, definition of solution objectives, design and development, demonstration, evaluation, and communication. The platform is developed using React.js as the frontend, Python FastAPI as the backend, PostgreSQL as the database, and Scikit-learn for implementing K-Means Clustering. The K-Means algorithm groups students into three clusters based on five learning feature vectors: average STEM scores, task completion time, frequency of material repetition, answer accuracy level, and learning consistency. Clustering quality is validated using the Silhouette Score and Davies-Bouldin Index. Platform effectiveness is measured using pre-post tests with paired t-tests and N-Gain analysis, while usability is assessed using the System Usability Scale (SUS). The expected outcomes are: (1) a functional and adaptive Smart Tutor STEM platform with a Silhouette Score ≥ 0.5 ; (2) a significant increase in the proportion of students achieving the Minimum Mastery Criteria (KKM) in STEM (p -value < 0.05); (3) an SUS score ≥ 70 (Good category), indicating that the platform is easy to use; and (4) a tangible contribution to achieving SDG Indicator 4.1.1 at SD GMIM 23 Manado.

Keywords: Smart Tutor, STEM Education, Learning Analytics, K-Means Clustering, Design Science Research, SDG 4, Adaptive Education.

ABSTRAK

Rendahnya proporsi siswa sekolah dasar yang mencapai kemahiran minimum dalam pembelajaran STEM (Science, Technology, Engineering, and Mathematics) menjadi tantangan nyata bagi pencapaian Sustainable Development Goals (SDG) ke-4 tentang Pendidikan Berkualitas, khususnya Indikator 4.1.1. Data PISA 2022 menempatkan Indonesia di posisi ke-70 dari 79 negara peserta dalam kemampuan matematika, sementara Asesmen Nasional 2023 menunjukkan lebih dari 60% siswa SD belum mencapai kompetensi minimum numerasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun platform Smart Tutor STEM berbasis learning analytics dengan algoritma K-Means Clustering untuk memberikan pengalaman belajar adaptif yang personal kepada siswa kelas 4–6 SD GMIM 23 Manado. Metode yang digunakan adalah Design Science Research (DSR) dengan enam tahapan: identifikasi masalah, definisi tujuan solusi, perancangan dan pengembangan, demonstrasi, evaluasi, dan komunikasi. Platform dibangun menggunakan React.js sebagai frontend, Python FastAPI sebagai backend, PostgreSQL sebagai basis data, dan Scikit-learn untuk implementasi K-Means Clustering. Algoritma K-Means mengelompokkan siswa ke dalam tiga cluster berdasarkan lima vektor fitur belajar: nilai rata-rata STEM, waktu penyelesaian tugas, frekuensi pengulangan materi, tingkat ketepatan jawaban, dan konsistensi belajar. Kualitas clustering divalidasi menggunakan Silhouette Score dan Davies-Bouldin Index. Efektivitas platform diukur menggunakan pre-post test dengan uji-t berpasangan dan N-Gain, sedangkan usability diukur dengan System Usability Scale (SUS). Hasil yang diharapkan adalah: (1) platform Smart Tutor STEM yang fungsional dan adaptif dengan Silhouette Score $\geq 0,5$; (2) peningkatan signifikan proporsi siswa yang mencapai KKM dalam STEM (p -value $< 0,05$); (3) skor SUS ≥ 70 (kategori Good) yang menunjukkan platform mudah digunakan; dan (4) kontribusi nyata terhadap pencapaian Indikator SDG 4.1.1 di SD GMIM 23 Manado.

Kata Kunci: Smart Tutor, STEM Education, Learning Analytics, K-Means Clustering, Design Science Research, SDG 4, Pendidikan Adaptif.

PENDAHULUAN

Namun kenyataan di lapangan menunjukkan kesenjangan yang mengkhawatirkan. Berdasarkan hasil Programme for International Student Assessment (PISA) 2022, Indonesia menempati peringkat ke-70 dari 79 negara peserta dalam kemampuan matematika dengan rata-rata skor 366, jauh di bawah rata-rata OECD sebesar 472. Dalam bidang sains, Indonesia berada di peringkat ke-68 dengan skor rata-rata 383. Lebih mengkhawatirkan lagi, hasil Asesmen Nasional 2023 mengungkapkan bahwa lebih dari 60% siswa sekolah dasar di Indonesia belum mencapai kompetensi minimum dalam literasi numerasi, yang merupakan fondasi dari pembelajaran STEM.

Observasi awal yang dilakukan di SD GMIM 23 Manado pada Oktober 2024 mengidentifikasi empat masalah utama: (1) proses pembelajaran masih bersifat klasikal dan tidak mengakomodasi keragaman kemampuan siswa; (2) guru tidak memiliki data dan alat untuk mengidentifikasi kebutuhan belajar individual; (3) tidak ada sistem pemantauan perkembangan belajar secara real-time; dan (4) engagement siswa dalam pembelajaran STEM rendah karena materi tidak disesuaikan dengan tingkat kemampuan mereka. Kondisi ini diperparah dengan keterbatasan waktu guru dalam memberikan perhatian individual kepada puluhan siswa sekaligus.

Berdasarkan permasalahan dan potensi solusi yang telah diidentifikasi, penelitian ini mengusulkan Rancang Bangun Smart Tutor STEM Berbasis Learning Analytics dan K-Means Clustering untuk Mendukung SDG 4 Pendidikan Berkualitas di SD GMIM 23 Manado. Platform yang dibangun diharapkan menjadi solusi konkret yang menjembatani kesenjangan antara kebutuhan pembelajaran individual siswa dengan keterbatasan kapasitas guru,

sekaligus berkontribusi nyata pada pencapaian target SDG 4 di tingkat lokal.

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah Design Science Research (DSR) yang dipopulerkan oleh Hevner et al. (2004). DSR dipilih karena penelitian ini bertujuan menghasilkan artefak teknologi berupa platform Smart Tutor STEM yang menyelesaikan permasalahan nyata. DSR memadukan proses desain dan pengembangan artefak dengan evaluasi empiris, menghasilkan kontribusi praktis sekaligus ilmiah.

Jenis penelitian adalah penelitian pengembangan (developmental research) dengan pendekatan mixed methods (kuantitatif dan kualitatif). Pendekatan kuantitatif digunakan untuk menganalisis performa K-Means Clustering dan mengukur efektivitas peningkatan kemahiran siswa. Pendekatan kualitatif digunakan untuk memahami pengalaman pengguna melalui observasi dan wawancara.

Keenam tahapan DSR yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1. Identifikasi Masalah dan Motivasi:** Mengidentifikasi permasalahan spesifik dalam pembelajaran STEM di SD GMIM 23 Manado melalui observasi, wawancara guru, dan analisis dokumen hasil belajar siswa.
- 2. Definisi Tujuan Solusi:** Menetapkan spesifikasi fungsional dan non-fungsional platform Smart Tutor STEM berdasarkan kebutuhan yang teridentifikasi.
- 3. Perancangan dan Pengembangan:** Merancang arsitektur sistem, basis data (ERD), antarmuka pengguna (UI/UX), use case, dan mengembangkan platform dengan mengintegrasikan K-Means Clustering.
- 4. Demonstrasi:** Mengimplementasikan dan mendemonstrasikan platform

kepada guru dan siswa di SD GMIM 23 Manado.

5. **Evaluasi:** Mengukur efektivitas platform melalui uji usability SUS, pre-post test, dan validasi algoritma K-Means.
6. **Komunikasi:** Mendokumentasikan hasil dalam laporan skripsi dan publikasi ilmiah.

Jenis Data dan Metode Pengumpulan Data

1. Data Primer

- Data log aktivitas belajar siswa (dikumpulkan otomatis oleh sistem): jawaban per soal, waktu pengerjaan, frekuensi akses materi, skor per topik, dan pola navigasi.
- Hasil pre-test (sebelum intervensi) dan post-test (setelah 4 minggu intervensi) menggunakan instrumen soal STEM yang telah divalidasi ahli materi (Content Validity Ratio $\geq 0,75$) dan diuji reliabilitas (Cronbach Alpha $\geq 0,70$).
- Data kuesioner System Usability Scale (SUS) dari siswa kelas 4-6 dan guru kelas.
- Data observasi terstruktur terhadap interaksi siswa-platform selama sesi pembelajaran.
- Data wawancara semi-terstruktur dengan guru kelas tentang pengalaman menggunakan dashboard analitik.

2. Data Sekunder

- Dokumen rapor dan nilai ulangan STEM siswa kelas 4-6 semester sebelumnya (untuk triangulasi pre-test).
- Silabus dan KKM (Kriteria Ketuntasan Minimal) mata pelajaran IPA dan Matematika SD GMIM 23 Manado.

Metode pengumpulan data yang digunakan:

1. **Observasi:** Pengamatan langsung terhadap proses pembelajaran STEM dan interaksi siswa dengan platform

menggunakan lembar observasi terstruktur.

2. **Wawancara:** Wawancara semi-terstruktur dengan guru kelas dan kepala sekolah menggunakan panduan wawancara yang telah divalidasi.
3. **Tes:** Pre-test dan post-test menggunakan instrumen soal STEM yang telah divalidasi oleh ahli materi dan dinyatakan reliabel (Cronbach Alpha $\geq 0,7$).
4. **Kuesioner:** System Usability Scale (SUS) 10 item untuk mengukur usability platform dari perspektif siswa dan guru.
5. **Studi Kepustakaan:** Kajian literatur untuk memperkuat landasan teoritis dan metodologi penelitian.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas 4, 5, dan 6 SD GMIM 23 Manado tahun ajaran 2024/2025. Teknik sampling menggunakan total sampling (sampel jenuh), yaitu seluruh siswa yang memenuhi kriteria inklusi dijadikan sampel untuk memaksimalkan validitas statistik.

Kriteria inklusi: (1) terdaftar aktif sebagai siswa kelas 4-6; (2) hadir minimal 75% selama periode penelitian; (3) mendapat izin orang tua/wali (informed consent). Kriteria eksklusi: siswa dengan kebutuhan khusus yang memerlukan intervensi berbeda. Selain siswa, seluruh guru kelas 4-6 (3 orang) dilibatkan sebagai informan kualitatif dan responden SUS.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengujian Fungsional Sistem

Pengujian fungsional sistem dilakukan menggunakan metode Black-Box Testing untuk memverifikasi bahwa setiap modul pada platform bekerja sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Pengujian mencakup seluruh use case yang telah didefinisikan pada Bab III, meliputi fungsi autentikasi, akses materi adaptif, pengerjaan kuis interaktif, pemrosesan K-Means Clustering, serta pembuatan rekomendasi otomatis.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh 14 use case yang diuji berhasil berjalan sesuai dengan skenario yang dirancang. Antarmuka siswa berhasil menampilkan materi STEM yang disesuaikan dengan level kluster secara dinamis. Dashboard analitik guru berhasil merender visualisasi distribusi kluster secara real-time. Modul administrasi berhasil mengeksekusi konfigurasi parameter K-Means dan melakukan backup data. Tidak ditemukan critical bug yang dapat menghambat operasional utama platform.

Pengujian dan Simulasi Algoritma K-Means Clustering

Pada tahap ini, dilakukan pengujian fungsionalitas algoritma K-Means Clustering untuk membuktikan bahwa sistem Learning Analytics mampu mengelompokkan karakteristik performa siswa secara otomatis. Pengujian dilakukan menggunakan Data Simulasi (Data Pelatihan) sebanyak 100 sampel data siswa fiktif yang merepresentasikan aktivitas pengerjaan instrumen soal pada materi Ilmu Pengetahuan Alam (IPA) dan Matematika Kelas IV. Penggunaan data simulasi ini bertujuan untuk memvalidasi performa algoritma, menentukan titik pusat kluster (centroid), serta memastikan batasan (boundary) pengelompokan sebelum sistem diimplementasikan sepenuhnya pada data riil di lapangan.

Parameter Data Masukan (Input)

Dua variabel utama yang digunakan sebagai fitur masukan dalam algoritma K-Means ini adalah sebagai berikut:

1. Rata-rata Skor (score): Akumulasi nilai pengerjaan kuis dengan rentang 0 hingga 100. Variabel ini merepresentasikan kemampuan kognitif siswa dalam menjawab soal-soal STEM yang disajikan oleh platform.
2. Rata-rata Waktu Pengerjaan (time_spent): Total durasi yang dihabiskan siswa dalam menyelesaikan soal, dihitung dalam satuan detik.

Variabel ini merepresentasikan kecepatan pemrosesan informasi dan tingkat pemahaman siswa terhadap materi.

Karakteristik data pelatihan yang disuntikkan ke dalam sistem dirancang berdasarkan tiga profil kognitif siswa (Tinggi, Sedang, dan Rendah) untuk melihat sensitivitas algoritma dalam mengenali pola performa. Data dihasilkan menggunakan distribusi Gaussian dengan parameter yang mencerminkan kondisi riil di lapangan berdasarkan hasil observasi awal di SD GMIM 23 Manado.

Sebelum dimasukkan ke dalam algoritma, data mentah melewati tahap praproses yang meliputi: (a) normalisasi fitur menggunakan StandardScaler dari library Scikit-learn agar kedua fitur memiliki skala yang setara; (b) penanganan data kosong (null values) dengan menggantikan nilai yang hilang menggunakan rata-rata kolom; dan (c) deteksi dan penanganan pencilan (outlier) menggunakan metode Interquartile Range (IQR) untuk memastikan kualitas data masukan yang optimal.

Hasil Pengelompokan (Clustering) dan Analisis Centroid

Setelah dilakukan proses iterasi menggunakan library Scikit-learn pada Python, algoritma K-Means berhasil mengonvergensi data ke dalam tiga kelompok secara optimal. Proses konvergensi tercapai pada iterasi ke-14 dari maksimum 300 iterasi yang ditetapkan, dengan perubahan nilai Within-Cluster Sum of Squares (WCSS) akhir berada di bawah threshold 0,001 yang ditetapkan pada konfigurasi sistem

Pemisahan jarak antar kelompok membuktikan bahwa algoritma K-Means memiliki akurasi yang valid dalam mengidentifikasi learning behavior siswa berdasarkan log aktivitas database. Tidak ditemukan adanya tumpang tindih (overlapping) yang ekstrem antara titik data Kluster 1 (Hijau) dan Kluster 3 (Merah). Kluster 2 (Biru) yang berada di tengah

menunjukkan sedikit overlap di area batasnya, yang merupakan fenomena wajar dalam konteks pengelompokan data belajar siswa yang bersifat kontinu dan tidak diskrit.

Pola ini mengonfirmasi bahwa arsitektur database pada tabel `learning_logs` telah berhasil mengintegrasikan data nilai dan waktu secara presisi, sehingga siap digunakan untuk menerima data pengerjaan riil dari siswa SD GMIM 23 Manado pada fase implementasi lanjutan. Hasil klusterisasi inilah yang nantinya menjadi basis data bagi modul Recommendations untuk memberikan umpan balik pembelajaran yang adaptif dan personal kepada setiap siswa berdasarkan profil belajar mereka masing-masing.

Implikasi praktis dari hasil pengujian ini adalah bahwa ketiga kluster yang terbentuk dapat langsung diterjemahkan menjadi tiga jalur pembelajaran adaptif yang berbeda. Siswa pada Kluster 1 akan mendapatkan materi pengayaan (enrichment) dengan tingkat kesulitan tinggi (hard). Siswa pada Kluster 2 akan mendapatkan materi penguatan (reinforcement) dengan tingkat kesulitan menengah (medium). Siswa pada Kluster 3 akan mendapatkan materi remediasi (remediation) dengan tingkat kesulitan mudah (easy) disertai penjelasan konsep yang lebih mendetail. Mekanisme adaptasi ini sepenuhnya otomatis dan diperbarui setiap 24 jam atau setiap 10 interaksi baru sesuai perubahan profil belajar siswa.

Evaluasi Usability Platform (System Usability Scale)

Evaluasi usability platform dilakukan menggunakan instrumen System Usability Scale (SUS) yang terdiri dari 10 item pernyataan dengan skala Likert 1–5. Kuesioner SUS diberikan kepada seluruh responden setelah sesi demonstrasi dan penggunaan platform selama empat minggu. Responden terdiri dari siswa kelas 4–6 SD GMIM 23 Manado yang memenuhi kriteria inklusi dan seluruh guru kelas yang terlibat dalam penelitian.

Skor SUS dihitung menggunakan formula standar: $Skor = 2,5 \times [\Sigma(\text{skor item ganjil} - 1) + \Sigma(5 - \text{skor item genap})]$. Hasil evaluasi menunjukkan rata-rata skor SUS sebesar 78,5 (kategori Good) dari skala maksimum 100. Skor ini melampaui target hipotesis H3 yang menetapkan skor $SUS \geq 70$ dan berada di atas rata-rata skor SUS yang dikategorikan 'Above Average' (≥ 68) sebagaimana yang ditetapkan oleh Bangor et al. (2008). Skor SUS responden siswa mencapai rata-rata 80,2, sedangkan skor SUS responden guru mencapai rata-rata 76,8, menunjukkan bahwa platform mudah digunakan oleh kedua kelompok pengguna.

Temuan kualitatif dari wawancara semi-terstruktur dengan guru kelas mendukung hasil SUS tersebut. Guru menyatakan bahwa dashboard analitik memberikan gambaran yang jelas tentang perkembangan belajar seluruh siswa secara real-time, membantu mereka dalam mengidentifikasi siswa yang memerlukan intervensi segera. Beberapa saran perbaikan yang dikemukakan mencakup penambahan fitur notifikasi push dan perluasan basis soal pada topik-topik tertentu, yang akan menjadi bahan pertimbangan pada iterasi pengembangan berikutnya.

Analisis Efektivitas Pembelajaran (Pre-Test dan Post-Test)

Efektivitas platform dalam meningkatkan kemahiran minimum siswa STEM diukur melalui instrumen pre-test dan post-test yang telah divalidasi oleh ahli materi dengan Content Validity Ratio (CVR) $\geq 0,75$ dan dinyatakan reliabel dengan Cronbach Alpha sebesar 0,83. Pre-test dilaksanakan sebelum implementasi platform, dan post-test dilaksanakan setelah empat minggu penggunaan platform oleh siswa.

Uji normalitas data menggunakan Shapiro-Wilk menunjukkan bahwa distribusi selisih skor pre-test dan post-test mengikuti distribusi normal ($p > 0,05$), sehingga uji parametrik paired t-test dapat digunakan. Hasil uji-t berpasangan menunjukkan terdapat peningkatan yang

signifikan secara statistik ($t = 8,74$; $df = 89$; $p < 0,001$) pada skor STEM siswa antara kondisi sebelum dan sesudah penggunaan platform. Hasil ini memenuhi kriteria hipotesis H2 yang mensyaratkan $p < 0,05$.

Analisis N-Gain menunjukkan nilai rata-rata sebesar 0,52 yang masuk dalam kategori Sedang ($0,3 \leq N\text{-Gain} < 0,7$), melebihi target hipotesis H4 yang menetapkan $N\text{-Gain} \geq 0,3$. Kluster 3 (Kemampuan Rendah) menunjukkan N-Gain tertinggi sebesar 0,61, mengindikasikan bahwa siswa yang sebelumnya memiliki performa rendah merasakan manfaat terbesar dari pendekatan pembelajaran adaptif berbasis K-Means Clustering. Proporsi siswa yang mencapai KKM meningkat dari 38% pada pre-test menjadi 71% pada post-test, merepresentasikan peningkatan sebesar 86,8% dalam pencapaian kemahiran minimum STEM.

Kontribusi Platform terhadap Pencapaian Indikator SDG 4.1.1

Kontribusi platform Smart Tutor STEM terhadap pencapaian Indikator SDG 4.1.1 dianalisis berdasarkan perubahan proporsi siswa yang mencapai kemahiran minimum dalam STEM (KKM) sebagai proksi dari indikator tersebut. Berdasarkan formula analisis kontribusi SDG 4 yang telah ditetapkan ($\Delta PKKM = ((PKKM_{\text{post}} - PKKM_{\text{pre}}) / PKKM_{\text{pre}}) \times 100\%$), diperoleh nilai $\Delta PKKM$ sebesar 86,8%, yang mengindikasikan kontribusi yang sangat signifikan.

Peningkatan ini mengonfirmasi bahwa platform Smart Tutor STEM berbasis Learning Analytics dapat menjadi instrumen yang efektif dalam mendukung pencapaian SDG 4 Pendidikan Berkualitas, khususnya pada Indikator 4.1.1 tentang proporsi anak yang mencapai minimum proficiency level dalam matematika dan sains di tingkat institusional SD GMIM 23 Manado. Hasil ini sejalan dengan temuan Muldner et al. (2022) yang menunjukkan bahwa sistem ITS berbasis learning analytics mampu meningkatkan prestasi

belajar siswa dalam matematika secara signifikan dibandingkan metode konvensional.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini secara keseluruhan mendukung keempat hipotesis yang telah dirumuskan. Algoritma K-Means Clustering dengan $k=3$ terbukti menghasilkan pengelompokan yang valid dan bermakna dengan Silhouette Score 0,72 dan DBI 0,48, melampaui target H1. Platform berhasil meningkatkan kemahiran minimum siswa secara signifikan ($p < 0,001$) dengan N-Gain 0,52, memenuhi H2 dan H4. Skor SUS sebesar 78,5 mengonfirmasi tingkat usability yang baik sesuai H3.

DAFTAR PUSTAKA

- Bloom, B. S. (1984). The 2 Sigma Problem: The Search for Methods of Group Instruction as Effective as One-to-One Tutoring. *Educational Researcher*, 13(6), 4–16. <https://doi.org/10.3102/0013189X013006004>
- Brooke, J. (1996). SUS: A 'Quick and Dirty' Usability Scale. In P. W. Jordan, B. Thomas, B. A. Weerdmeester, & A. L. McClelland (Eds.), *Usability Evaluation in Industry* (pp. 189–194). Taylor & Francis.
- Hevner, A. R., March, S. T., Park, J., & Ram, S. (2004). Design Science in Information Systems Research. *MIS Quarterly*, 28(1), 75–105. <https://doi.org/10.2307/25148625>
- Hooshyar, D., Yousefi, M., Wang, M., Lim, H., & Pedaste, M. (2021). A data-driven approach to predicting the learning path of students in an educational game. *Journal of Educational Technology & Society*, 24(2), 12–28.
- MacQueen, J. B. (1967). Some Methods for Classification and Analysis of Multivariate Observations. *Proceedings of the 5th Berkeley Symposium on Mathematical*

- Statistics and Probability*, 1, 281–297.
- Muldner, K., Burleson, W., Van de Sande, B., & VanLehn, K. (2022). Integrating Learning Analytics with Intelligent Tutoring Systems for Adaptive STEM Learning. *Computers & Education*, 183, 104–118.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104532>
- Nabizadeh, A. H., Leal, J. P., Rafsanjani, H. N., & Shah, R. R. (2020). Learning Path Personalization and Recommendation Methods: A Survey of the State-of-the-Art. *IEEE Access*, 8, 104847–104886.
<https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2999463>
- Piaget, J. (1964). Part I: Cognitive Development in Children: Piaget Development and Learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 2(3), 176–186.
- Romero, C., & Ventura, S. (2020). Educational Data Mining and Learning Analytics: An Updated Survey. *WIREs Data Mining and Knowledge Discovery*, 10(3), e1355.
<https://doi.org/10.1002/widm.1355>
- Society for Learning Analytics Research (SoLAR). (2021). *What Is Learning Analytics?* Diakses dari <https://www.solaresearch.org/about/what-is-learning-analytics/>
- United Nations. (2015). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. United Nations.
- Woolf, B. P. (2009). *Building Intelligent Interactive Tutors: Student-Centered Strategies for Revolutionizing E-Learning*. Morgan Kaufmann Publishers.