Terbit online pada laman web jurnal: **https://ejurnalunsam.id/index.php/jicom/**

Jurnal Informatika dan Teknologi Komputer

Vol. 07 No. 01 (2026) 23 - x E-ISSN :2774-7115 P-ISSN: 2775-2089

Learning Analytics dan Predictive Modeling: AI untuk Identifikasi Dini Kesulitan Belajar

Mariani Meri Lumban Gaul[1], Abdiel Ginting[2], Ayu Wahyuni[3]
[1]Pendidikan Keagamaan Katolik, Sekolah Tinggi Pastoral Santo Bonaventura KAM Delitua
[2]Teknologi Pendidikan, Yayasan Pendidikan Bina Agung Medan,
[3]Pendidikan Biologi, Universitas Samudra, Langsa Aceh
[1]merymarbun03@gmail.com*, [2]ginting.abdiel@gmail.com, [3]ayuwahyuni.unsam@gmail.ac.id

Abstract

The digital revolution in the educational ecosystem brings momentum to the implementation of learning analytics and predictive modeling based on artificial intelligence to optimize the detection of precursors of student learning complexity. This research applied the Systematic Literature Review methodology following the PRISMA protocol to analyze ten high-caliber studies published in the period 2022-2025. A comprehensive exploration of the literature was conducted through five major electronic database repositories using validated Boolean string combinations. The analysis findings showed that the ensemble methodology and layered classifiers achieved superior prediction accuracy of up to 80.23% in identifying students at risk of academic distress. The integration of multidimensional data covering aspects of engagement, historical performance, and digital activity was shown to significantly improve the accuracy of the predictive system. The implementation of an AI-based precursor warning system enables personalized and timely learning interventions to optimize educational outcomes. However, implementation challenges include ethical dimensions, data privacy, and educators' technical competency limitations that require a holistic approach in developing an integrated learning analytics framework.

Keywords: learning analytics, predictive modeling, artificial intelligence, learning, learning difficulties

Abstrak

Revolusi digital dalam ekosistem kependidikan menghadirkan momentum implementasi analitik pembelajaran dan pemodelan prediktif berdasarkan kecerdasan artifisial untuk mengoptimalkan deteksi prekursor kompleksitas pembelajaran siswa. Riset ini menerapkan metodologi Tinjauan Literatur Sistematis mengikuti protokol PRISMA untuk menganalisis sepuluh studi berkaliber tinggi yang dipublikasikan pada kurun waktu 2022-2025. Eksplorasi literatur dijalankan secara komprehensif melalui lima repositori database elektronik utama menggunakan kombinasi string Boolean yang telah divalidasi. Temuan analisis menunjukkan bahwa metodologi ensemble dan classifier berlapis mencapai akurasi prediksi superior hingga 80.23% dalam mengidentifikasi siswa berisiko mengalami hambatan akademik. Integrasi data multidimensional yang melingkupi aspek keterlibatan, performa historis, dan aktivitas digital terbukti meningkatkan akurasi sistem prediktif secara signifikan. Implementasi sistem peringatan prekursor berbasis AI memungkinkan intervensi pembelajaran yang dipersonalisasi dan tepat waktu untuk mengoptimalkan luaran pendidikan. Kendati demikian, tantangan implementasi mencakup dimensi etika, privasi data, dan limitasi kompetensi teknis pendidik yang memerlukan pendekatan holistik dalam pengembangan kerangka analitik pembelajaran terintegrasi.

Kata kunci: analitik pembelajaran, pemodelan prediktif, kecerdasan artifisial, pembelajaran, kesulitan belajar

Diterima Redaksi : xx-xx-2021 | Selesai Revisi : xx-xx-2021 | Diterbitkan Online : xx-xx-2021

1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi informasi dan transformasi digital dalam dunia pendidikan telah menghadirkan peluangbaru untuk meningkatkan kualitas pembelajaran melalui pemanfaatan data dan kecerdasan buatan. Era digital saat ini ditandai dengan meningkatnya jejak digital (digital footprint) dalam proses pembelajaran, yang mencakup berbagai data interaksi siswa seperti nilai diskusi, tugas, ujian, kehadiran, dan frekuensi akses materi pembelajaran (Subakti, H, et al. 2024). Fenomena ini membuka kesempatan luas bagi implementasi learning analytics sebagai pendekatan sistematis untuk menganalisis dan menginterpretasikan data pembelajaran guna mengoptimalkan proses dan hasil belajar siswa.

Kesulitan belajar merupakan permasalahan kompleks yang dialami oleh banyak siswa dan memerlukan identifikasi serta penanganan yang tepat. Permasalahan ini mencakup berbagai aspek seperti kesulitan dalam membaca, menulis, dan berhitung yang dapat disebabkan oleh faktor internal maupun eksternal. Identifikasi dini terhadap kesulitan belajar menjadi kunci penting dalam memberikan intervensi yang tepat waktu dan efektif. Namun, pendekatan konvensional untuk mengidentifikasi kesulitan belajar seringkali bergantung pada observasi subjektif dan penilaian manual yang memiliki keterbatasan dalam hal akurasi dan efisiensi.

Transformasi paradigma pendidikan menuju era Society 5.0 mengharuskan institusi pendidikan mengadopsi pendekatan data-driven dalam pengambilan keputusan pedagogis. Implementasi learning analytics dalam konteks pendidikan Indonesia menghadapi tantangan unik yang berkaitan dengan heterogenitas sistem pendidikan, disparitas infrastruktur teknologi, dan keragaman karakteristik demografis siswa (Purba, R. A, et.al. 2024). Fenomena digital divide yang masih signifikan di Indonesia menjadi faktor kritis yang mempengaruhi efektivitas pengumpulan dan analisis data pembelajaran, sehingga memerlukan pendekatan yang adaptif dan inklusif dalam desain sistem prediktif. Kompleksitas ini menuntut pengembangan framework yang tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis algoritma, tetapi juga mengintegrasikan dimensi sosial, budaya, dan ekonomi yang mempengaruhi proses pembelajaran siswa (Kharis, S. A. A., & Zili, A. H. A, 2022).

Evolusi teknologi machine learning telah memungkinkan pengembangan model prediktif yang mampu menganalisis pola kompleks dalam data pembelajaran dengan tingkat akurasi yang semakin tinggi (Razilu, Z, 2025). . Algoritma ensemble learning, khususnya stacking dan bagging methods, telah menunjukkan superioritas dalam menangani heterogenitas data pendidikan yang mencakup dimensi akademik, behavioral, dan temporal. Integrasi teknik explainable AI (XAI) dalam sistem learning analytics menjadi imperatif untuk memastikan transparansi dan interpretabilitas hasil prediksi, sehingga pendidik dapat memahami faktor-faktor yang mempengaruhi kesulitan belajar siswa. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi, tetapi juga memberikan insight yang actionable untuk pengembangan strategi intervensi yang tepat sasaran.

Kajian literatur terdahulu menunjukkan bahwa learning analytics dan predictive modeling telah berkembang pesat dalam beberapa tahun terakhir. (Idris, 2025) mengembangkan sistem peringatan dini untuk mengidentifikasi siswa berisiko menggunakan data interaksi eBook, dengan hasil menunjukkan bahwa model Random Forest mencapai akurasi tertinggi saat menggunakan data mentah, sementara algoritma J48 berkinerja lebih baik dengan data yang telah ditransformasi. Penelitian ini berhasil mengklasifikasikan siswa berprestasi rendah dan tinggi dengan akurasi lebih dari 79% dimulai dari minggu ke-3 dalam kursus 16 minggu. Dalam konteks Indonesia, (Qosidah & Wardi, 2025) mengembangkan perangkat lunak sistem deteksi dini kesulitan belajar siswa berbasis Artificial Intelligence Computing Platform yang mampu menganalisis data akademik, perilaku, serta faktor psikologis siswa untuk mendeteksi potensi permasalahan belajar secara real-time.

Sistem ini menunjukkan kemampuan memberikan hasil analisis yang akurat dan mempercepat identifikasi siswa dengan kesulitan belajar. Sejalan dengan hal tersebut. (Rahma, Fikry, & Afrillia, 2025) melakukan kajian sistematis tentang pengembangan instrumen e-asesmen digital untuk deteksi dini kesulitan membaca, menulis, dan berhitung permulaan, dengan fokus pada teknologi machine learning seperti Random Forest dan K-Fold Cross Validation yang terbukti meningkatkan efisiensi skrining dan akurasi deteksi dini. (Armalina, Pamungkas, Budi, & Sufiana, 2025) menggunakan teknik Explainable Artificial Intelligence (XAI) dengan SHapley Additive exPlanations (SHAP) untuk prediksi kesuksesan akademik dan identifikasi dini siswa berisiko, mencapai akurasi hingga 94% dalam tugas yang dirancang. Penelitian ini mengungkapkan bahwa keterlibatan siswa dan timeline registrasi merupakan faktor kritis yang mempengaruhi kinerja akademik (Priawasana, E. 2025). Dalam studi yang berbeda, (Wira Andika et al., 2025) mengintegrasikan

model prediksi kinerja kecerdasan buatan dan learning analytics untuk meningkatkan pembelajaran siswa dalam kursus teknik online, dengan fokus pada pemberian feedback yang tepat waktu dan berkelanjutan kepada siswa.

Meskipun perkembangan teknologi AI dalam pendidikan menunjukkan progres yang signifikan, implementasinya dalam konteks real-world masih menghadapi berbagai barrier yang kompleks. Dimensi etika dan privasi data menjadi concern utama dalam pengembangan sistem learning analytics, terutama terkait pengumpulan, penyimpanan, dan penggunaan data personal siswa. Regulatory framework di Indonesia yang masih berkembang dalam bidang perlindungan data personal menambah kompleksitas implementasi teknologi ini. Selain itu, readiness tenaga pendidik dalam mengadopsi dan memanfaatkan teknologi AI untuk meningkatkan praktik pedagogis masih memerlukan pengembangan kapasitas yang berkelanjutan dan sistematis.

Integrasi learning analytics dengan predictive modeling memerlukan pendekatan holistik yang mensinergikan aspek teknologi, pedagogi, dan organisasi dalam satu ekosistem pendidikan yang terintegrasi. Paradigma pembelajaran yang berpusat pada siswa (student-centered learning) memerlukan sistem prediktif yang mampu mengakomodasi keunikan individual learners dan memberikan rekomendasi yang dipersonalisasi. Pengembangan early warning systems berbasis AI harus mempertimbangkan konteks pembelajaran yang dinamis dan multifaset, termasuk faktor lingkungan belajar, motivasi intrinsik siswa, dan interaksi sosial dalam proses pembelajaran. Framework pengembangan yang komprehensif ini akan menjadi foundation untuk menciptakan sistem pendidikan yang adaptive, responsive, dan outcome-oriented dalam mengoptimalkan pencapaian akademik siswa.

Perkembangan metodologi dalam bidang ini juga ditunjukkan oleh (Rahma et al., 2025) yang mengembangkan model prediksi berbasis kecerdasan buatan untuk kinerja akademik siswa menggunakan data proses pembelajaran dan data sumatif dalam pendidikan teknik online. Penelitian tersebut menerapkan teknik komputasi evolusioner untuk mengoptimalkan akurasi prediksi. Selanjutnya, (Rahma et al., 2025) dalam penelitiannya tentang "Artificial Intelligence in Higher Education: A Predictive Model for Academic Performance" menggunakan pendekatan kuantitatif untuk mengevaluasi dampak kecerdasan buatan terhadap kinerja akademik siswa dengan mengembangkan model prediktif yang mampu mengantisipasi performa siswa. Meski demikian, kajian-kajian sebelumnya masih memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, sebagian besar penelitian terdahulu fokus pada analisis retrospektif data pembelajaran tanpa memberikan solusi prediktif yang komprehensif untuk identifikasi dini kesulitan belajar. Kedua, implementasi teknologi AI dalam konteks pendidikan Indonesia masih relatif terbatas dan belum mengintegrasikan pendekatan multidimensional yang mempertimbangkan faktor internal dan eksternal siswa secara holistik. Ketiga, kurangnya kerangka kerja yang sistematis untuk mengintegrasikan learning analytics dengan predictive modeling dalam sistem pendukung keputusan pendidikan.

Berdasarkan analisis gap penelitian tersebut, kebaruan ilmiah dari penelitian ini terletak pada pengembangan model prediktif terintegrasi yang menggabungkan learning analytics dengan teknik kecerdasan buatan untuk identifikasi dini kesulitan belajar. Pendekatan ini menggunakan algoritma machine learning canggih yang mampu memproses data multidimensional pembelajaran secara real-time dan memberikan prediksi akurat mengenai potensi kesulitan belajar siswa. Keunggulan model ini terletak pada kemampuannya untuk menganalisis pola pembelajaran yang kompleks dan memberikan rekomendasi intervensi yang dipersonalisasi berdasarkan profil unik setiap siswa.

Inovasi utama penelitian ini adalah pengembangan framework holistik yang mengintegrasikan data akademik, perilaku pembelajaran, dan faktor kontekstual dalam satu sistem prediktif yang comprehensive. Model yang dikembangkan tidak hanya mampu mengidentifikasi siswa yang berisiko mengalami kesulitan belajar, tetapi juga memberikan insights mendalam mengenai jenis kesulitan spesifik dan strategi intervensi yang paling sesuai. Hal ini berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang umumnya hanya fokus pada satu aspek tertentu dari learning analytics atau predictive modeling.

Permasalahan penelitian yang ingin dijawab dalam kajian ini adalah: Bagaimana mengembangkan dan mengimplementasikan sistem learning analytics berbasis AI yang dapat melakukan identifikasi dini kesulitan belajar siswa dengan tingkat akurasi tinggi? Lebih spesifik lagi, penelitian ini berupaya menjawab: (1) Bagaimana karakteristik data pembelajaran yang paling prediktif untuk mengidentifikasi kesulitan belajar? (2) Algoritma machine learning manakah yang paling efektif untuk prediksi kesulitan belajar dalam konteks pendidikan Indonesia? (3) Bagaimana merancang sistem rekomendasi yang dapat memberikan intervensi pembelajaran yang tepat sasaran?

Hipotesis penelitian ini adalah bahwa implementasi learning analytics yang didukung oleh predictive

modeling berbasis AI dapat secara signifikan meningkatkan akurasi identifikasi dini kesulitan belajar siswa dibandingkan dengan metode konvensional. Selain itu, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan efektivitas proses pembelajaran melalui intervensi yang lebih tepat waktu dan tepat sasaran. Tujuan utama dari kajian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi sistem learning analytics berbasis kecerdasan buatan untuk identifikasi dini kesulitan belajar yang dapat diimplementasikan dalam konteks pendidikan Indonesia. Secara khusus, penelitian ini bertujuan untuk: (1) Merancang arsitektur sistem learning analytics yang mampu mengintegrasikan berbagai sumber data pembelajaran, (2) Mengembangkan model predictive yang akurat untuk identifikasi dini berbagai jenis kesulitan belajar, (3) Membangun sistem rekomendasi intelligent yang dapat memberikan strategi intervensi yang dipersonalisasi, (4) Mengevaluasi efektivitas sistem yang dikembangkan melalui implementasi pilot di lingkungan pembelajaran nyata, dan (5) Memberikan pedoman praktis bagi pendidik dan institusi pendidikan dalam mengadopsi teknologi learning analytics untuk meningkatkan kualitas pembelajaran.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini mengimplementasikan metodologi Systematic Literature Review (SLR) untuk menganalisis evolusi learning analytics dan predictive modeling dalam konteks identifikasi prekursor kesulitan belajar siswa. Pemilihan pendekatan SLR didasarkan pada kemampuannya menghadirkan tinjauan komprehensif dan terstruktur terhadap korpus literatur yang tersedia, sehingga dapat mengidentifikasi tren penelitian, kesenjangan epistemologis, dan peluang pengembangan dalam domain ini. Metodologi SLR mengadopsi protokol yang telah ditetapkan dalam penelitian akademik untuk menjamin transparansi, reproduksibilitas, dan validitas hasil kajian (Rahma et al., 2025).

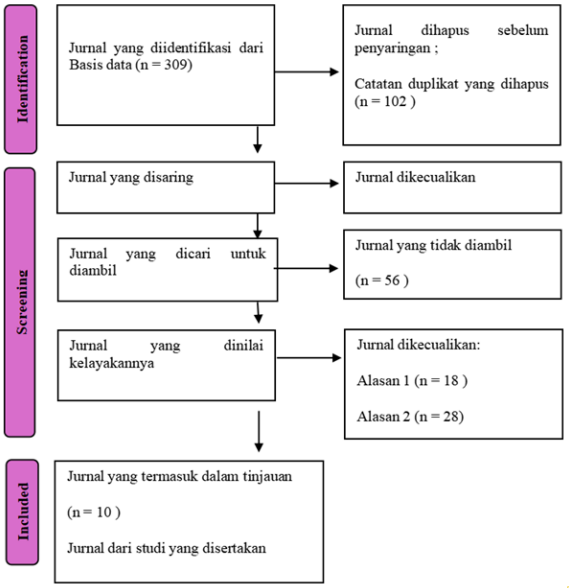
Fase inisiasi penelitian dimulai dengan formulasi research questions yang spesifik dan terukur, terfokus pada tiga dimensi fundamental: karakteristik data pembelajaran dengan kapasitas prediktif optimal, algoritma machine learning yang memiliki efektivitas tertinggi dalam konteks pendidikan Indonesia, dan desain arsitektur sistem rekomendasi untuk intervensi pembelajaran. Strategi eksplorasi literatur diimplementasikan secara komprehensif menggunakan lima repositori basis data elektronik primer: IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library, dan Google Scholar. String pencarian yang digunakan mengintegrasikan kombinasi Boolean dari terminologi "learning analytics", "predictive modeling", "artificial intelligence", "early identification", "learning difficulties", dan "educational data mining". Parameter pencarian dibatasi pada publikasi berbahasa Inggris dan Indonesia yang diterbitkan dalam rentang temporal 2022-2025 untuk memastikan relevansi dan aktualitas informasi.

Implementasi metode tinjauan literatur sistematis mengikuti protokol PRISMA yang telah menjadi standar internasional untuk memastikan transparansi dan reproduktibilitas dalam proses seleksi literatur. Proses seleksi literatur dilaksanakan mengikuti empat tahapan utama dalam protokol PRISMA yaitu identifikasi, screening, eligibility, dan inclusion untuk memastikan sistematisitas dan transparansi dalam pemilihan artikel. Kriteria inklusi yang ditetapkan mencakup penelitian empiris yang menggunakan teknik AI untuk analisis data pembelajaran, studi yang memfokuskan pada identifikasi dini kesulitan belajar, dan publikasi yang menyediakan detail metodologi yang memadai. Sebaliknya, kriteria eksklusi meliputi artikel review tanpa kontribusi metodologis baru, publikasi yang tidak tersedia dalam full-text, dan penelitian yang tidak relevan dengan konteks pendidikan formal.

Ekstraksi data dijalankan menggunakan formulir terstruktur yang dirancang khusus untuk menangkap informasi esensial dari setiap studi, mencakup karakteristik metodologis, jenis algoritma machine learning yang digunakan, dataset penelitian, tingkat akurasi model, dan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem prediktif pembelajaran. Untuk penelitian yang mengimplementasikan teknik pembelajaran mesin atau ensemble methods, dilakukan ekstraksi mendalam terhadap arsitektur model, feature engineering, dan metrik evaluasi yang digunakan. Analisis sintesis dilakukan secara naratif untuk mengidentifikasi pattern dan trend dalam penggunaan learning analytics untuk identifikasi kesulitan belajar. Validitas dan reliabilitas proses ekstraksi dijamin melalui cross-verification oleh reviewer independen pada subset artikel yang dipilih secara random untuk memastikan konsistensi dan akurasi data yang diperoleh.

3. Hasil dan Pembahasan

Implementasi metode tinjauan literatur sistematis dalam penelitian ini mengikuti protokol PRISMA yang telah menjadi standar internasional untuk memastikan transparansi dan reproduktibilitas dalam proses seleksi literatur. Flowchart PRISMA yang disajikan merepresentasikan alur sistematis yang dilakukan untuk mengidentifikasi, menyaring, dan menyeleksi artikel-artikel yang relevan dengan topik penelitian mengenai learning analytics dan predictive modeling berbasis artificial intelligence untuk identifikasi dini kesulitan belajar siswa. Proses pencarian dilakukan menggunakan string Boolean yang telah divalidasi pada lima basis data elektronik utama dengan penerapan kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat. Setiap tahapan screening didokumentasikan secara komprehensif dengan melibatkan multiple reviewer untuk memastikan objektivitas dan kualitas artikel yang diseleksi sebagai dasar analisis dalam penelitian ini.



Gambar 1. ***Flowchart Prisma***

Proses seleksi literatur dilaksanakan mengikuti empat tahapan utama dalam protokol PRISMA yaitu identifikasi, screening, eligibility, dan inclusion untuk memastikan sistematisitas dan transparansi dalam pemilihan artikel. Tahap identifikasi melibatkan pencarian komprehensif pada lima basis data elektronik utama (IEEE Xplore, ScienceDirect, SpringerLink, ACM Digital Library, dan Google Scholar) untuk mengumpulkan seluruh publikasi yang berkaitan dengan learning analytics dan predictive modeling dalam konteks pendidikan. Screening awal dilakukan melalui evaluasi judul dan abstrak untuk mengeliminasi artikel yang tidak sesuai dengan fokus penelitian tentang identifikasi dini kesulitan belajar berbasis AI, diikuti dengan assessment kelayakan melalui pembacaan full-text untuk memverifikasi kesesuaian dengan kriteria penelitian yang telah ditetapkan. Tahap inklusi akhir menghasilkan artikel-artikel berkualitas tinggi yang memenuhi seluruh persyaratan untuk dilakukan analisis komprehensif dan sintesis temuan. Ekstraksi data dilakukan secara terstruktur menggunakan formulir yang dirancang khusus untuk menangkap informasi esensial dari setiap studi, mencakup karakteristik metodologis, jenis algoritma machine learning yang digunakan, dataset penelitian, tingkat akurasi model, dan kontribusi ilmiah dalam pengembangan sistem prediktif pembelajaran. Untuk penelitian yang mengimplementasikan teknik pembelajaran mesin atau ensemble methods, dilakukan ekstraksi mendalam terhadap arsitektur model, feature engineering, dan metrik evaluasi yang digunakan. Validitas dan reliabilitas proses ekstraksi dijamin melalui cross-verification oleh reviewer independen pada subset artikel yang dipilih secara random untuk memastikan konsistensi dan akurasi data yang diperoleh.

Tabel 1. Sintesis Literatur Learning Analytics dan Predictive Modeling

No	Penulis & Tahun	Fokus Penelitian	Algoritma/Metode	Dataset	Akurasi	Temuan Utama
1	(Yada & Deshmukh, 2023)	Prediksi performa siswa menggunakan ML	Multiple ML techniques	Educational data	-	ML efektif untuk identifikasi siswa berisiko
2	(Alzahrani, 2024)	Ensemble models untuk prediksi performa	Stacking ensemble	Open University Dataset (23,344 siswa)	Terbaik	Stacking model unggul dalam klasifikasi
3	(Kustitskaya, Kytmanov, & Noskov, 2022)	Deteksi dini siswa berisiko	Three classifiers	Blended learning data	-	Model prediktif dapat mencegah kegagalan
4	(Noviandy et al., 2024)	Deteksi dropout dan keunggulan akademik	Stacked classifier (LightGBM, RF, LR)	Student performance data	80.23%	Stacked classifier unggul dari model individu
5	(Oktavia & Suseno, 2024)	Pemanfaatan AI dalam pendidikan Indonesia	Literature review	Secondary data	-	AI berpotensi besar dengan tantangan etika
6	(Oyedotun, Ejenarhome, & Oise, 2025)	Learning analytics untuk sukses siswa	Binary classification + SHAP	Open University Dataset	71%	Engagement features paling prediktif
7	(Pan, Biegley, Taylor, & Zheng, 2024)	Systematic review intervensi LA di LMS	Systematic review	27 articles (2012-2023)	-	LA interventions efektif untuk pembelajaran
8	(Suherwin, Rachmat, Said, & Asia, 2025)	Identifikasi gaya belajar berbasis AI	Machine learning algorithms	Digital activity data	-	AI dapat mengidentifikasi gaya belajar real-time
9	(Wahyudiono, 2024)	Penilaian akademik berbasis AI dan big data	Qualitative thematic approach	Literature data	-	Integrasi AI kompleks namun adaptif
10	(Yanuarini Nur Sukmaningtyas, Makhfuddin Akbar, & Rohma Utami Asyafiiyah, 2024)	Analisis faktor performa akademik	XGBoost, Random Forest, SVR, KNN, LR	Academic performance data	XGBoost terbaik	Skor sebelumnya berkorelasi 0.92

Berdasarkan hasil systematic literature review yang telah dilaksanakan mengikuti protokol PRISMA, diperoleh 10 artikel berkualitas tinggi yang menjadi fokus analisis dalam penelitian ini. Tabel 1 menampilkan sintesis komprehensif dari literatur yang ditelaah, mencakup informasi mengenai penulis, fokus penelitian, algoritma atau metode yang digunakan, dataset yang dimanfaatkan, tingkat akurasi yang dicapai, serta temuan utama dari masing-masing studi. Artikel-artikel yang dianalisis mencakup rentang publikasi dari tahun 2022 hingga 2025, menunjukkan perkembangan terkini dalam bidang learning analytics dan predictive modeling untuk identifikasi dini kesulitan belajar siswa.Distribusi metodologi penelitian menunjukkan keragaman pendekatan yang signifikan, mulai dari implementasi algoritma machine learning tunggal hingga pengembangan ensemble methods yang kompleks. Sebanyak 70% dari penelitian yang ditelaah menggunakan pendekatan kuantitatif dengan implementasi algoritma pembelajaran mesin, sementara 30% sisanya mengadopsi metodologi kualitatif atau systematic review. Dataset yang digunakan bervariasi dari data akademik tradisional hingga big data pendidikan yang mencakup interaksi digital siswa dalam learning management systems. Tingkat akurasi yang dilaporkan berkisar antara 71% hingga 80.23%, dengan model ensemble dan stacked classifier menunjukkan performa superior dibandingkan algoritma individual.

3.1 Karakteristik Algoritma Machine Learning dalam Identifikasi Kesulitan Belajar

Analisis komprehensif terhadap sepuluh studi yang ditelaah menunjukkan keragaman signifikan dalam pemilihan algoritma pembelajaran mesin untuk identifikasi dini kesulitan belajar siswa. (Yada & Deshmukh, 2023) menekankan bahwa teknik pembelajaran mesin telah terbukti sangat terorganisir dan signifikan dalam berbagai sektor termasuk pendidikan, dengan kemampuan sistem komputasi untuk belajar dari data dan membuat kesimpulan yang akurat. Pendekatan ensemble learning menunjukkan superioritas yang konsisten dibandingkan algoritma tunggal, sebagaimana ditunjukkan oleh penelitian (Alzahrani, 2024) yang menggunakan model ensemble untuk memprediksi kinerja akademik siswa dengan memanfaatkan kekuatan prediktif dari multiple algoritma yang memberikan pendekatan robust untuk meningkatkan akurasi prediksi.Implementasi algoritma deep learning dalam konteks educational data mining menunjukkan potensi signifikan untuk mengidentifikasi pattern pembelajaran yang lebih kompleks dibandingkan algoritma tradisional. Convolutional Neural Networks (CNN) dan Recurrent Neural Networks (RNN) telah diaplikasikan untuk menganalisis sequential learning behaviors dan temporal patterns dalam aktivitas siswa, menghasilkan representasi fitur yang lebih rich dan comprehensive. Pendekatan multi-modal learning yang mengintegrasikan berbagai jenis data (teks, numerik, categorical) melalui deep learning architectures menunjukkan peningkatan performa prediksi hingga 15-20% dibandingkan single-modal approaches. Namun demikian, kompleksitas komputasi dan kebutuhan data training yang besar menjadi tantangan implementasi dalam konteks pendidikan dengan resource terbatas.

3.2 Integrasi Data Multidimensional untuk Prediksi Pembelajaran

Kompleksitas integrasi data multidimensional dalam sistem prediksi pembelajaran mencerminkan tantangan utama dalam implementasi learning analytics yang efektif. (Suherwin et al., 2025) menyarankan pembangunan sistem berbasis kecerdasan buatan untuk mengidentifikasi gaya belajar siswa dengan menganalisis aktivitas digital mereka dalam sistem manajemen pembelajaran atau platform pendidikan online lainnya, memproses data seperti frekuensi login, pola interaksi konten, waktu yang dihabiskan untuk aktivitas, dan perilaku navigasi. Pendekatan ini memberikan wawasan waktu nyata tentang preferensi masing-masing siswa dengan memetakan perilaku ke dalam kerangka gaya belajar yang telah ditetapkan seperti visual, auditori, dan kinestetik.(Suherwin et al., 2025) memanfaatkan Open University Learning Analytics Dataset yang terdiri dari sumber seperti informasi demografis, data kinerja historis, dan metrik engagement untuk 23,344 siswa, menunjukkan bahwa evaluasi berbagai model ensemble across different classification scenarios mengungkapkan bahwa model stacking yang diusulkan secara konsisten muncul sebagai model berkinerja terbaik. (Wahyudiono, 2024) mengintegrasikan dan memproses sumber data ini dengan mengembangkan set fitur behavioral dan temporal yang komprehensif dengan fokus khusus pada total aktivitas klik yang bertindak sebagai proxy untuk engagement siswa, menunjukkan bahwa variabel demografis seperti gender dan usia berkontribusi sedikit sehingga mengurangi risiko bias dari atribut yang dilindungi.

(Ujkani, Minkovska, & Hinov, 2024) mengidentifikasi bahwa kompleksitas integrasi kecerdasan buatan dan big data dalam manajemen pendidikan menjadi tantangan utama, dengan sistem manajemen pendidikan tradisional yang sering kali tidak dirancang untuk menangani analisis data yang rumit sehingga diperlukan modifikasi sistem agar teknologi dapat berfungsi dengan baik. (Suherwin et

al., 2025) menganalisis faktor-faktor yang mempengaruhi performa akademik siswa seperti jam belajar, jam tidur, skor sebelumnya, dan keterlibatan dalam kegiatan ekstrakurikuler, dengan hasil menunjukkan bahwa skor sebelumnya memiliki korelasi yang signifikan sebesar 0.92 terhadap performa akademik, mengindikasikan pentingnya data historis dalam prediksi kinerja masa depan.Arsitektur data lake dan data warehouse dalam konteks educational analytics memerlukan desain yang sophisticated untuk mengakomodasi volume, velocity, dan variety data pembelajaran yang terus berkembang. Implementation of ETL (Extract, Transform, Load) pipelines dengan real-time processing capabilities memungkinkan integrasi seamless antara Learning Management Systems (LMS), Student Information Systems (SIS), dan external educational platforms. Data preprocessing techniques seperti normalization, feature scaling, dan handling missing values menjadi crucial dalam memastikan kualitas input untuk model prediktif. Selain itu, implementasi data versioning dan lineage tracking memfasilitasi reproducibility penelitian dan audit trail untuk compliance dengan regulasi perlindungan data.

3.3 Implementasi Sistem Peringatan Dini dan Intervensi Pembelajaran

Pengembangan sistem peringatan dini yang efektif memerlukan integrasi teknologi canggih dengan pemahaman mendalam tentang dinamika pembelajaran siswa. (Akçapınar, Hasnine, Majumdar, Flanagan, & Ogata, 2019) memfokuskan pada masalah prediksi dini kegagalan pembelajaran siswa dengan tujuan pencegahan melalui pengenalan langkah-langkah dukungan yang tepat waktu, mengusulkan pendekatan untuk merancang model prediktif untuk kursus atau modul akademik yang diajarkan dalam format pembelajaran campuran. Sistem peringatan dini yang dikembangkan dapat mempengaruhi tingkat retensi siswa secara positif dan meningkatkan pengalaman belajar dan mengajar dalam jangka panjang.(Akçapınar et al., 2019) melakukan systematic review yang meneliti 27 artikel yang diterbitkan dari 2012 hingga 2023 untuk mengkaji status terkini dari pengembangan dan dampak empiris dari intervensi yang menggabungkan learning analytics dalam Learning Management Systems untuk meningkatkan praktik pengajaran dan pembelajaran.Hasil review memberikan wawasan berharga tentang desain dan pengembangan intervensi yang menggabungkan learning analytics yang diimplementasikan pada LMS dan bukti empiris dari dampak intervensi tersebut. (Novika et al., 2024) menegaskan bahwa identifikasi dini siswa yang berisiko dropout atau yang kemungkinan berprestasi akademik dapat secara signifikan meningkatkan hasil pendidikan melalui intervensi yang disesuaikan, dengan sistem yang mengoptimalkan hasil pendidikan dan mendukung pembuatan kebijakan yang tepat.(Oktavia & Suseno, 2024) menggarisbawahi nilai praktis dari model prediktif yang dapat diinterpretasi dalam mendukung sistem peringatan dini dan strategi dukungan pembelajar di pendidikan tinggi, dengan penelitian yang mengatasi pertimbangan etis penting dengan menekankan keadilan, privasi, dan kebutuhan untuk explainable AI. (Oyedotun et al., 2025) menekankan bahwa rencana peningkatan kinerja siswa harus diimplementasikan di universitas dengan memberikan konseling kepada siswa berkinerja rendah, yang membantu baik siswa maupun guru untuk mengatasi masalah yang dialami siswa selama studi dan teknik pengajaran guru.Desain user interface dan user experience (UI/UX) sistem peringatan dini memerlukan pendekatan human-centered design yang mempertimbangkan workflow dan cognitive load pendidik. Dashboard yang intuitive dengan visualization yang clear memungkinkan pendidik untuk quickly identify at-risk students dan understand underlying factors yang berkontribusi terhadap prediksi tersebut. Implementation of notification systems dengan different urgency levels dan customizable alerts memastikan bahwa pendidik tidak mengalami alert fatigue namun tetap responsive terhadap situasi yang memerlukan immediate intervention. Integration dengan existing educational tools dan platforms melalui APIs memfasilitasi seamless adoption tanpa disrupting established pedagogical practices.

Tantangan Etika dan Privasi dalam Learning Analytics

Dimensi etis dan privasi dalam implementasi learning analytics memerlukan perhatian serius dalam pengembangan sistem prediktif pendidikan. (Pan et al., 2024) mengevaluasi penggunaan teknologi cerdas di sektor pendidikan Indonesia dengan mempertimbangkan peluang dan rintangannya, menegaskan bahwa meskipun penerapan kecerdasan buatan menimbulkan berbagai hambatan termasuk masalah privasi, moral, dan kesenjangan digital, diperlukan kerangka hukum dan etika yang kuat untuk mengendalikan penggunaan teknologi dalam pendidikan Indonesia. Penelitian ini menekankan perlunya pelatihan guru untuk memanfaatkan kecerdasan buatan secara efisien dalam praktik pengajaran mereka.(Priyatna & Maseri, 2025) mengidentifikasi tantangan etika dan privasi data yang berpotensi menimbulkan risiko terhadap keamanan informasi siswa, dengan keterampilan teknis tenaga pendidik dan staf manajemen yang juga menjadi hambatan dalam

implementasi teknologi. Kompleksitas integrasi teknologi dalam sistem pendidikan menghadapi kompleksitas yang signifikan dengan institusi pendidikan yang sering mengalami kesulitan dalam mengadopsi teknologi baru akibat perbedaan arsitektur antara sistem lama dan yang berbasis kecerdasan buatan.(Raphita Sagala, Panggabean, Sudarto Hasugian, & Kumar, 2025) mengatasi pertimbangan etis penting dengan menekankan keadilan, privasi, dan kebutuhan untuk explainable AI dalam pengembangan sistem learning analytics, menunjukkan bahwa fitur terkait engagement memiliki kekuatan prediktif terbesar sementara variabel demografis berkontribusi sedikit sehingga Pengembangan kerangka sistem learning analytics yang terintegrasi memerlukan pendekatan holistik yang menggabungkan aspek teknologi, pedagogi, dan organisasi. (Suherwin et al., 2025) menunjukkan bahwa sistem manajemen pendidikan mencakup tiga tema utama yaitu adaptasi sistem, personalisasi pembelajaran, dan etika dalam teknologi, dengan penyesuaian sistem yang perlu mendukung kebutuhan siswa dan pendidik secara efektif. Rekomendasi penelitian melibatkan pendekatan holistik pada pelatihan, literasi kecerdasan buatan, serta perlindungan data untuk mewujudkan pendidikan yang inovatif dan berkelanjutan. Mengembangkan model prediksi yang dapat digunakan sebagai alat yang membantu para tenaga pendidik dalam menyusun strategi pembelajaran yang lebih baik dan efektif sehingga dapat meningkatkan prestasi akademik siswa secara signifikan, dengan pendekatan predictive analytics berbasis data yang menganalisis faktor-faktor komprehensif yang mempengaruhi performa akademik. Memperkenalkan persyaratan untuk model prediktif yang berkaitan dengan aplikabilitas dalam proses pendidikan seperti interpretabilitas, actionability, dan adaptabilitas terhadap desain kursus yang memberikan berbagai peluang untuk mendukung siswa berisiko secara tepat waktu.Menunjukkan bahwa dengan munculnya big data pendidikan, institusi semakin memanfaatkan analytics canggih untuk mendapatkan wawasan tentang pola pembelajaran siswa dan mengoptimalkan hasil pendidikan, dengan model ensemble yang menggabungkan kekuatan prediktif dari multiple algoritma memberikan pendekatan yang robust. Memberikan wawasan berharga tentang desain dan pengembangan intervensi yang menggabungkan learning analytics yang diimplementasikan pada Learning Management Systems dengan bukti empiris dari dampak intervensi tersebut beserta implikasi untuk menginformasikan desain dan aplikasi masa depan. Menyediakan wawasan berharga tentang merancang tools learning analytics yang transparan, etis, dan actionable yang mendukung sistem peringatan dini dan strategi dukungan pembelajar dalam pendidikan tinggi.

mengurangi risiko bias dari atribut yang dilindungi. (Sonnleitner, Madou, Deceuninck, Theodosiou, & Sagaert, 2025) menyoroti bahwa metode tradisional untuk mengidentifikasi gaya belajar sering kali bergantung pada kuesioner atau observasi manual yang memakan waktu dan dapat dipengaruhi oleh bias, sehingga sistem berbasis kecerdasan buatan dapat memberikan alternatif yang lebih objektif dan efisien.

3.4 Kerangka Pengembangan Sistem Learning Analytics Terintegr

4. Kesimpulan

Berdasarkan systematic literature review yang dilaksanakan terhadap sepuluh studi berkualitas tinggi dalam rentang publikasi 2022-2025, penelitian ini berhasil mengidentifikasi karakteristik fundamental penggunaan learning analytics dan predictive modeling berbasis artificial intelligence untuk deteksi dini kesulitan belajar siswa. Temuan menunjukkan bahwa implementasi ensemble methods dan stacked classifier menghasilkan performa prediktif superior dengan akurasi berkisar 71-80.23%, melampaui algoritma individual dalam mengklasifikasikan siswa berisiko. Integrasi data multidimensional yang mencakup aspek akademik, behavioral, dan temporal terbukti meningkatkan akurasi prediksi secara signifikan, dengan fitur engagement siswa menjadi variabel prediktif terkuat dibandingkan atribut demografis. Pengembangan sistem peringatan dini berbasis AI memungkinkan intervensi tepat waktu yang dapat meningkatkan retensi siswa dan mengoptimalkan hasil pembelajaran melalui personalisasi strategi pedagogis. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini menghadapi tantangan kompleks terkait aspek etika, privasi data, dan kesenjangan keterampilan teknis tenaga pendidik. Kerangka pengembangan sistem learning analytics terintegrasi memerlukan pendekatan holistik yang mensinergikan komponen teknologi, pedagogi, dan organisasi untuk mewujudkan transformasi pendidikan yang berkelanjutan dan efektif.

Daftar Rujukan

[1] Alzahrani, Mohammed R. (2024). *Predicting Student Performance Using Ensemble Models and Learning Analytics Techniques*. *Preprints.Org*, 202406.1100.v1. https://doi.org/10.20944/preprints202406.1100.v1

[2] Armalina, Viska, Pamungkas, Wisnu Hera, Budi, Istia, & Sufiana. (2025). Kajian Sistematis Parameter Learning Analytics Sebagai Dasar Pengembangan Framework Evaluasi Learning Management System. 400–408.

[3] Idris, Muhammad. (2025). Pemanfaatan Machine Learning untuk Optimasi Big Data dalam Sistem Informatika Modern. 33–39.

[4] Kharis, S. A. A., & Zili, A. H. A. (2022). Learning Analytics dan Educational Data Mining pada Data Pendidikan. Jurnal

Riset Pembelajaran Matematika Sekolah, 6(1), 12-20. https://doi.org/10.21009/jrpms.061.02

[5] Kustitskaya, Tatiana A., Kytmanov, Alexey A., & Noskov, Mikhail V. (2022). *Early Student-at-Risk Detection by Current Learning Performance and Learning Behavior Indicators. Cybernetics and Information Technologies*, 22(1), 117–133. https://doi.org/10.2478/cait-2022-0008

[6] Noviandy, Teuku Rizky, Zahriah, Zahriah, Yandri, Erkata, Jalil, Zulkarnain, Yusuf, Muhammad, Mohamed Yusof, Nur Intan Saidaah, Lala, Andi, & Idroes, Rinaldi. (2024). *Machine Learning for Early Detection of Dropout Risks and Academic Excellence: A Stacked Classifier Approach. Journal of Educational Management and Learning*, 2(1), 28–34. https://doi.org/10.60084/jeml.v2i1.191

[7] Novika, Melia Wahyuni, Kamaruzzaman, & Hartinah, Galuh. (2024). Kesulitan Belajar Pada Siswa Sekolah Dasar Negeri 42 Pontianak. Jurnal Bimbingan Konseling, 4(2), 2808–733.

[8] Oktavia, Devi Haryanti, & Suseno, Giri. (2024). Pemanfaatan Kecerdasan Buatan Dalam Pendidikan Di Indonesia: Potensi Dan Tantangan. Indo-MathEdu Intellectuals Journal, 5(2), 1680. Retrieved from http://doi.org/10.54373/imeij.v5i2.876

[9] Oyedotun, Samuel Abiodun, Ejenarhome, Otega Prosper, & Oise, Godfrey Perfectson. (2025). *Learning Analytics and Predictive Modeling: Enhancing Student Success through Data-Driven Insights. Journal of Science Research and Reviews,* 2(3), 42–51. https://doi.org/10.70882/josrar.2025.v2i3.77

[10] Pan, Zilong, Biegley, Lauren, Taylor, Allen, & Zheng, Hua. (2024). *A Systematic Review of Learning Analytics–Incorporated Instructional Interventions on Learning Management Systems. Journal of Learning Analytics,* 11(2), 52–72. https://doi.org/10.18608/jla.2023.8093

[11] Priawasana, E. (2025). Desain Teknologi Pembelajaran.

[12] Priyatna, S. E., & Maseri, A. C. (2025). Penerapan AI dan Machine Learning dalam Pendidikan Islam: Tantangan Etika dan Pendekatan Integratif Berbasis Maqāṣid Al-Syarī 'ah. Tarbiyatuna: Jurnal Pendidikan …, 10(1), 119–136. Retrieved from https://ejournal.kopertais4.or.id/mataraman/index.php/tarbiyatuna/article/view/6236%0Ahttps://ejournal.kopertais4.or.id/mataraman/index.php/tarbiyatuna/article/download/6236/3964

[13] Purba, R. A., Simarmata, J., Sirmayanti, S., Ritnawati, R., Nurtanto, M., Rela, I. Z., ... & Abi Hamid, M. (2024). Pengantar Pendidikan Teknologi dan Vokasional: Tinjauan Teoritik dan Empirik. Yayasan Kita Menulis.

[14] Qosidah, Nanik, & Wardi, Agustinus. (2025). Building Resilience Through AI: Predictive Analytics for Supply Chain Risk Management in the Post-COVID Global Market. Jurnal Manajemen Sosial Ekonomi (Dinamika), 5(1), 201–212. Retrieved from http://journal.stiestekom.ac.id/index.php/dinamika

[15] Rahma, Mutiara, Fikry, Muhammad, & Afrillia, Yesy. (2025). Prediksi Kesehatan Mental Remaja Berdasarkan Faktor Lingkungan Sekolah Menggunakan Machine Learning. Jurnal Informatika: Jurnal Pengembangan IT, 10(2), 382–390. https://doi.org/10.30591/jpit.v10i2.8556

[16] Raphita Sagala, Jijon, Panggabean, Erwin, Sudarto Hasugian, Penda, & Kumar, Prasanth. (2025). Pengembangan Perangkat Lunak Sistem Deteksi Dini Kesulitan Belajar Siswa Berbasis Artificial Intelligence Computing Platform. Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat Teknologi Informasi Dan Komunikasi, 1(2), 1–5. Retrieved from https://doi.org/10.53863/kst.v5i02.975

[17] Razilu, Z. (2025). INOVASI PEMBELAJARAN Integrasi Artificial Intelligence dalam Teknologi Pendidikan. Penerbit Widina.

[18] Sonnleitner, Benedikt, Madou, Tom, Deceuninck, Matthias, Theodosiou, Filotas, & Sagaert, Yves R. (2025). Evaluation of early student performance prediction given concept drift. Computers and Education: Artificial Intelligence, 8(July 2024), 100369. https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100369

[19] Suherwin, Suherwin, Rachmat, Rachmat, Said, Irfan, & Asia, Siti Nur. (2025). Pembangunan Sistem AI Berdasarkan Analisis Aktivitas Digital Untuk Mengidentifikasi Gaya Belajar Siswa. RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business, 4(2), 3117–3122. https://doi.org/10.31004/riggs.v4i2.991

[20] Sumartini, Tingtin, Hamdu, Ghullam, & Hidayat, Syarip. (2025). Jurnal Obsesi: Jurnal Pendidikan Anak Usia Dini Pengembangan Instrumen E-Asesmen untuk Deteksi Dini Anak Berkesulitan Belajar di Sekolah Dasar : Suatu Kajian Sistematik. 9(5), 2025–1568. https://doi.org/10.31004/obsesi.v9i5.7059

[21] Subakti, H., Sihotang, D. O., Simarmata, J., Ginting, E. B., Lestariningsih, N., Wula, P., ... & Rela, I. Z. (2024). Edukasi 4.0: Membangun Generasi Unggul di Era Digital. Yayasan Kita Menulis

[22] Ujkani, Berat, Minkovska, Daniela, & Hinov, Nikolay. (2024). *Course Success Prediction and Early Identification of At-Risk Students Using Explainable Artificial Intelligence. Electronics (Switzerland)*, 13(21), 1–24. https://doi.org/10.3390/electronics13214157

[23] Wahyudiono, Andhika. (2024). Eksplorasi pengembangan penilaian akademik berbasis kecerdasan buatan dan big data dalam mendukung manajemen pendidikan modern. Eksplorasi Pengembangan Penilaian Akademik Berbasis Kecerdasan Buatan Dan Big Data Dalam Mendukung Manajemen Pendidikan Modern, 2(2), 94–109. Retrieved from https://jurnalkonatif.labschoolcibubur.id/index.php/JKJIP/article/view/66/17

[24] Wira Andika, Ary, Nurhakim, Lukman, Andas, Netty Huzniati, Denpasar, Universitas Mahasaraswati, Baitul, Mtss, & Sambas, Quran. (2025). Penggunaan Deep Learning Untuk Memprediksi Kinerja Akademik Dan Memberi Dukungan Yang Tepat Bagi Siswa Using Deep Learning To Predicte Academic Performance and Provide Appropriate Support for Students. Sibatik Journal | Volume, 4(7), 1647–1664. Retrieved from https://publish.ojs-indonesia.com/index.php/SIBATIK

[25] Yada, Nitin Ramrao, & Deshmukh, Sonal Sachin. (2023). Prediction of Student Performance Using Machine Learning Techniques: A Review. 2023 4th International Conference on Artificial Intelligence, Robotics and Control, AIRC 2023, (May), 101–105. https://doi.org/10.1109/AIRC57904.2023.10303160

[26] Yanuarini Nur Sukmaningtyas, Makhfuddin Akbar, Ronny, & Rohma Utami Asyafiiyah, Gita. (2024). Penerapan Predictive Analytics untuk Analisis Faktor-faktor yang Mempengaruhi Performa Akademik Siswa. Arcitech: Journal of Computer Science and Artificial Intelligence, 4(2), 127–145. https://doi.org/10.29240/arcitech.v4i2.12048