

Implementasi *Artificial Intelligence* Berbasis *Learning Analytics* untuk Deteksi Dini Kesulitan Belajar Siswa dalam Pembelajaran Matematika: *Systematic Literature Review*

Nur Hasvira Tul Aulia^{1*}, Ernawati², A. Muhajir Nasir³

¹⁾²⁾ Pendidikan Matematika, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Muslim Maros

³⁾ Pendidikan Guru Sekolah Dasar, Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Negeri Makassar
Email : nurasfiray53@gmail.com¹, ernafajar1305@gmail.com², a.muhajir.nasir@unm.ac.id³

ABSTRAK

Artificial Intelligence (AI) berbasis *learning analytics* memiliki potensi besar dalam mendeteksi dini kesulitan belajar siswa pada pembelajaran matematika serta memungkinkan pemberian intervensi yang lebih tepat sasaran. Artikel ini bertujuan untuk mengkaji secara sistematis implementasi AI berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar matematika melalui peninjauan penelitian empiris dan kajian sistematis terkini. Proses kajian mengikuti pedoman PRISMA dan Kitchenham dengan penelusuran pada berbagai basis data utama serta seleksi studi berdasarkan kriteria tahun publikasi, konteks pendidikan, dan penggunaan model AI atau *machine learning* dalam memprediksi performa maupun kesulitan belajar siswa. Berbagai teknik diterapkan, seperti *real-time neural network* dengan data *eye tracking* untuk memprediksi kesulitan pada tugas kalkulus dan grafik, model jaringan saraf untuk memprediksi kesulitan matematika pada jenjang pendidikan awal, serta beragam algoritma klasifikasi, seperti *Decision Tree*, *Random Forest*, *Support Vector Machine* (SVM), *Naive Bayes*, dan regresi dalam kerangka *predictive learning analytics*. Secara umum, fitur yang dominan digunakan meliputi jejak aktivitas belajar pada sistem daring, nilai asesmen, data perilaku, dan emosi akademik. Hasil studi menunjukkan bahwa model AI mampu mengidentifikasi siswa berisiko dan mendeteksi kesulitan belajar matematika sejak dini dengan tingkat akurasi yang baik sehingga mendukung perancangan intervensi serta pembelajaran adaptif. Namun, masih terdapat keterbatasan terkait generalisasi lintas konteks, pemanfaatan hasil prediksi dalam praktik pembelajaran, serta isu etika dan privasi data. Temuan ini menegaskan urgensi pengembangan kerangka implementasi AI berbasis *learning analytics* yang etis, transparan, dan terintegrasi dengan peran guru dalam pembelajaran matematika

Kata Kunci : *Artificial Intelligence* (AI), *Learning Analytics* (LA), kesulitan belajar matematika.

Panduan Sitasi : Aulia, N. H. T., Ernawati, & Nasir, A. M. (2026). Implementasi artificial intelligence berbasis learning analytics dalam deteksi dini kesulitan belajar siswa pada pembelajaran matematika: Systematic literature review. *Prosiding Seminar Nasional FKIP Universitas Muslim Maros*, 3(1), 1–10.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Artificial Intelligence* (AI) dan *learning analytics* menghadirkan peluang baru dalam mendeteksi dini kesulitan belajar siswa, termasuk pada pembelajaran matematika yang selama ini dikenal kompleks dan berisiko menimbulkan kegagalan akademik apabila permasalahan belajar tidak diidentifikasi sejak awal (Hwang & Tu, 2021). Berbagai penelitian menunjukkan bahwa keterlambatan dalam mengidentifikasi kesulitan belajar berdampak negatif terhadap prestasi akademik, motivasi, serta kesejahteraan siswa. Sementara itu, data pembelajaran yang diperoleh dari *Learning Management System* (LMS), hasil asesmen, dan interaksi daring sering kali belum dimanfaatkan secara optimal untuk mendukung intervensi dini (Namoun & Alshantqi, 2020).



Sejalan dengan perkembangan tersebut, berbagai penelitian mulai memanfaatkan *machine learning* dan AI untuk memprediksi performa belajar serta mengidentifikasi siswa berisiko melalui analisis data nilai, aktivitas belajar daring, dan karakteristik siswa. Pendekatan ini bertujuan mendukung intervensi pembelajaran yang lebih tepat sasaran (Albreiki dkk., 2021). Dalam konteks pembelajaran matematika, pendekatan yang lebih spesifik mencakup pemanfaatan *eye tracking* dan jaringan saraf untuk memprediksi kesulitan pada tugas turunan grafis serta mendeteksi potensi kesulitan matematika sejak usia dini dengan tingkat akurasi yang baik (Psyridou dkk., 2024). Namun, kajian sistematis yang secara khusus memetakan implementasi AI berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar matematika, termasuk jenis data, model yang digunakan, serta tantangan etis dan praktisnya, masih terbatas (Issah dkk., 2023).

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi bentuk implementasi AI berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar matematika; (2) mengkaji jenis data, algoritma, dan indikator kesulitan belajar yang digunakan; serta (3) merumuskan tantangan, peluang, dan rekomendasi pengembangan pada masa mendatang melalui pendekatan *systematic literature review*. Secara teoretis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya kajian mengenai AI dalam pendidikan matematika serta prediksi performa siswa. Secara praktis, penelitian ini diharapkan menjadi landasan bagi guru, pengembang sistem, dan pengambil kebijakan dalam merancang sistem pembelajaran matematika adaptif yang mampu mendeteksi serta menangani kesulitan belajar siswa sejak dini.

Lebih lanjut, integrasi AI dan *learning analytics* tidak hanya berkaitan dengan kemampuan teknis dalam memproses data, tetapi juga mencerminkan perubahan paradigma menuju pembelajaran matematika berbasis data (*data-driven learning*). Dalam pendekatan ini, proses pembelajaran tidak lagi berfokus semata pada hasil akhir, tetapi juga pada analisis proses belajar siswa secara berkelanjutan. Kondisi tersebut memungkinkan pendidik memahami pola kesalahan, miskonsepsi, dan tingkat keterlibatan siswa secara lebih mendalam sehingga intervensi yang diberikan dapat menjadi lebih tepat sasaran dan kontekstual.

Selain itu, pemanfaatan AI dalam pembelajaran matematika membuka peluang pengembangan sistem pembelajaran yang adaptif dan personal. Sistem berbasis AI mampu menyesuaikan materi, tingkat kesulitan, serta strategi pembelajaran berdasarkan karakteristik dan kebutuhan individu siswa. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip pembelajaran berdiferensiasi yang menekankan pentingnya memperhatikan perbedaan kemampuan dan gaya belajar siswa. Dengan demikian, AI tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi, tetapi juga sebagai sarana untuk meningkatkan kualitas pengalaman belajar siswa secara menyeluruh.

Meskipun demikian, implementasi AI berbasis *learning analytics* dalam pendidikan masih menghadapi berbagai tantangan, baik dari aspek teknis maupun nonteknis. Keterbatasan infrastruktur, kesiapan sumber daya manusia, serta isu etika seperti privasi dan keamanan data menjadi faktor penting yang perlu diperhatikan. Selain itu, diperlukan upaya untuk memastikan bahwa teknologi yang dikembangkan bersifat transparan dan dapat diinterpretasikan oleh pendidik sehingga hasil analisis tidak hanya akurat, tetapi juga dapat dimanfaatkan secara efektif dalam praktik pembelajaran. Oleh karena itu, penelitian ini penting dilakukan untuk memberikan gambaran komprehensif mengenai potensi, implementasi, dan tantangan AI berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar matematika.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) untuk mengkaji implementasi *Artificial Intelligence* (AI) berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar siswa pada pembelajaran matematika. Metode SLR dipilih karena memungkinkan identifikasi, evaluasi, dan sintesis temuan penelitian secara sistematis sehingga menghasilkan gambaran komprehensif mengenai perkembangan kajian pada topik yang diteliti. Proses pelaksanaan SLR mengacu pada pedoman PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) dan pendekatan Kitchenham dalam tahapan identifikasi, seleksi, evaluasi, serta sintesis literatur.

Proses pengumpulan data dilakukan melalui penelusuran literatur pada berbagai basis data bereputasi, yaitu Scopus, *Web of Science*, SpringerLink, IEEE Xplore, dan Google Scholar. Strategi pencarian menggunakan kombinasi kata kunci, seperti "*Artificial Intelligence*", "*Learning Analytics*", "*Mathematics Learning*", dan "*Learning Difficulties Detection*" dengan bantuan operator Boolean (*AND*, *OR*). Penelusuran difokuskan pada publikasi yang membahas penerapan AI berbasis *learning analytics* dalam konteks pembelajaran matematika serta deteksi atau prediksi kesulitan belajar siswa.

Kriteria inklusi dalam penelitian ini meliputi: (1) artikel jurnal atau prosiding internasional bereputasi; (2) penelitian yang secara eksplisit membahas penggunaan AI dan/atau *learning analytics* dalam konteks pendidikan matematika; (3) studi yang berfokus pada deteksi atau prediksi kesulitan belajar siswa; serta (4) artikel tersedia dalam teks lengkap berbahasa Inggris. Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup artikel duplikat, studi yang tidak relevan dengan konteks pembelajaran matematika, serta publikasi nonilmiah. Proses seleksi dilakukan secara bertahap melalui penyaringan judul, abstrak, dan teks penuh (*full text*) untuk memastikan kesesuaian dengan tujuan penelitian.

Tahap analisis data dilakukan menggunakan teknik analisis tematik dan sintesis naratif untuk mengidentifikasi pola, tren, serta hubungan antartemuan penelitian. Data yang diekstraksi mencakup metode AI yang digunakan, seperti *machine learning* dan *deep learning*, jenis data pembelajaran yang dianalisis, pendekatan *learning analytics*, serta hasil penelitian terkait deteksi kesulitan belajar siswa. Selanjutnya, dilakukan evaluasi terhadap efektivitas, kelebihan, dan keterbatasan masing-masing pendekatan yang ditemukan dalam literatur.

Untuk menjamin validitas dan reliabilitas hasil kajian, proses ekstraksi dan analisis data dilakukan secara sistematis dengan menggunakan matriks literatur serta prosedur *cross-checking*. Hasil sintesis diharapkan mampu memberikan gambaran menyeluruh mengenai kontribusi AI berbasis *learning analytics* dalam mendukung pembelajaran matematika yang adaptif, personal, dan berbasis data.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil kajian menunjukkan bahwa berbagai model *machine learning* mampu memprediksi siswa berisiko (*at-risk*) atau mengalami kegagalan belajar dengan tingkat akurasi yang tinggi sehingga berpotensi digunakan sebagai sistem peringatan dini (*early warning system*) dalam pembelajaran matematika. Model yang digunakan meliputi *Logistic Regression*, *Decision Tree*, *Random Forest*, *Support Vector Machine* (SVM), *Neural Network*, hingga model berbasis *ensemble* dan *hybrid*. Di antara berbagai model tersebut, *Logistic Regression* menunjukkan kinerja yang optimal pada penggunaan fitur sederhana dan praktis, sedangkan model *ensemble* memberikan keunggulan dalam meningkatkan akurasi prediksi secara keseluruhan.

Dari sisi kinerja model, tingkat akurasi prediksi berada pada rentang 80% hingga 98%, dengan nilai *Area Under Curve* (AUC) mencapai 0,97 dalam mengklasifikasikan siswa ke dalam kategori "gagal", "berisiko", dan "baik". Model *ensemble stacking* menunjukkan performa yang sangat tinggi, terutama



ketika menggunakan data akademik sebagai variabel utama. Bahkan, penggunaan data akademik secara tunggal terbukti lebih efektif dibandingkan kombinasi dengan data demografis. Selain itu, pendekatan berbasis graf seperti *Graph Convolutional Network* juga menunjukkan kemampuan yang baik dalam mengidentifikasi siswa berisiko dengan tingkat akurasi tinggi.

Jenis data yang digunakan dalam proses prediksi sangat beragam, namun data performa akademik, seperti nilai kuis, tugas, dan ujian, menjadi faktor yang paling dominan dalam menentukan hasil prediksi. Data demografis dan aktivitas dalam *Learning Management System* (LMS) memiliki kontribusi yang lebih rendah ketika dikombinasikan dengan data akademik. Selain itu, integrasi berbagai sumber data, seperti skor asesmen formatif matematika, kemampuan membaca, dan literasi awal, terbukti meningkatkan ketepatan model dalam mengidentifikasi siswa yang berisiko mengalami kesulitan belajar matematika.

Dalam konteks pembelajaran matematika, terdapat dua pendekatan utama yang menonjol. Pertama, penggunaan tes formatif terkomputerisasi secara berkelanjutan mampu memprediksi risiko rendahnya prestasi matematika sejak tahap awal pembelajaran. Kedua, pemanfaatan data *eye tracking* atau pergerakan tatapan siswa memberikan informasi yang lebih mendalam mengenai kesulitan konseptual, khususnya pada tugas yang bersifat visual, seperti diferensiasi grafik. Pendekatan ini bahkan mampu mendeteksi kesulitan belajar sebelum siswa menyelesaikan soal dengan tingkat akurasi yang relatif tinggi.

Selain jenis data, waktu pengambilan data juga terbukti memengaruhi efektivitas deteksi dini. Terdapat periode optimal dalam proses pembelajaran ketika prediksi dapat dilakukan dengan tingkat akurasi yang tinggi, yaitu sekitar pertengahan siklus pembelajaran. Seiring bertambahnya data yang dikumpulkan dari aktivitas siswa, kemampuan model dalam mengidentifikasi siswa berisiko juga semakin meningkat.

Integrasi AI dan *learning analytics* dalam sistem pembelajaran matematika memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan hasil belajar dan kemampuan diagnosis masalah. Sistem yang terintegrasi mampu menjelaskan sebagian besar variasi prestasi belajar siswa serta mengidentifikasi berbagai permasalahan pembelajaran sebelum evaluasi akhir dilakukan. Temuan ini menunjukkan bahwa pendekatan berbasis data tidak hanya efektif dalam melakukan prediksi, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan pembelajaran yang lebih tepat sasaran.

Secara keseluruhan, hasil kajian menunjukkan bahwa AI berbasis *learning analytics* memiliki potensi besar sebagai alat deteksi dini kesulitan belajar matematika. Dengan memanfaatkan kombinasi data akademik, aktivitas belajar, dan data perilaku siswa, sistem mampu menghasilkan prediksi yang akurat sejak awal proses pembelajaran. Namun demikian, implementasi di lapangan masih menghadapi berbagai tantangan, seperti keterbatasan adopsi di sekolah, isu etika dan privasi data, serta kebutuhan akan transparansi model dan kolaborasi antara guru dengan pengembang teknologi agar hasil prediksi dapat ditindaklanjuti secara efektif dalam praktik pembelajaran.

Lebih lanjut, hasil kajian menunjukkan bahwa optimalisasi performa model sangat dipengaruhi oleh proses seleksi fitur (*feature selection*). Penggunaan teknik seperti *feature importance*, *recursive feature elimination*, dan *principal component analysis* (PCA) terbukti mampu meningkatkan efisiensi model dengan mengurangi kompleksitas data tanpa mengorbankan akurasi. Model yang dibangun menggunakan fitur relevan cenderung lebih stabil dan memiliki kemampuan generalisasi yang lebih baik ketika diterapkan pada konteks pembelajaran yang berbeda. Temuan ini menegaskan bahwa kualitas data dan pemilihan fitur menjadi faktor krusial dalam pengembangan sistem deteksi dini yang andal.

Selain itu, integrasi sistem prediksi dengan mekanisme umpan balik (*feedback system*) memberikan dampak positif terhadap proses pembelajaran matematika. Sistem yang mampu menghasilkan rekomendasi otomatis, seperti latihan tambahan, materi remedial, atau notifikasi kepada guru, memungkinkan intervensi dilakukan secara lebih cepat dan tepat sasaran. Umpan balik yang bersifat *real-time* dan personal juga mendorong peningkatan keterlibatan siswa dalam proses belajar sehingga sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi, tetapi juga sebagai sarana peningkatan kualitas pembelajaran.

Lebih jauh, penerapan AI berbasis *learning analytics* berkontribusi terhadap pengembangan pembelajaran matematika yang adaptif dan berpusat pada siswa (*student-centered learning*). Sistem mampu menyesuaikan tingkat kesulitan materi, kecepatan pembelajaran, serta strategi pengajaran berdasarkan karakteristik dan kebutuhan individu siswa. Pendekatan ini tidak hanya membantu mengidentifikasi kesulitan belajar, tetapi juga berperan dalam mengurangi kesenjangan kemampuan antarsiswa. Dengan demikian, AI tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi, tetapi juga menjadi komponen strategis dalam transformasi pembelajaran matematika menuju sistem yang lebih personal, inklusif, dan berbasis data.

Pembahasan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan *Artificial Intelligence* (AI) dan *learning analytics* mampu mengidentifikasi siswa berisiko (*at-risk*) dengan tingkat akurasi yang tinggi sehingga membuka peluang intervensi dini dalam pembelajaran matematika. Temuan ini memperkuat hasil penelitian Pek dkk. (2023), yang menunjukkan bahwa model hibrida berbasis *ensemble stacking* mampu memprediksi siswa *at-risk* dengan akurasi mencapai 98,4% ketika hanya menggunakan data akademik. Hasil tersebut mengindikasikan bahwa performa akademik memiliki peran yang sangat kuat sebagai indikator awal dalam mendeteksi potensi kesulitan belajar siswa.

Temuan penelitian ini juga sejalan dengan Bulut dkk. (2022), yang menyatakan bahwa pemantauan formatif terkomputerisasi dan pemodelan *machine learning* memberikan pendekatan yang lebih efektif dalam menyaring siswa dengan risiko rendah prestasi matematika dibandingkan metode konvensional. Penggabungan berbagai indikator, seperti kemampuan matematika, membaca, dan literasi awal, terbukti mampu meningkatkan akurasi klasifikasi siswa berisiko secara konsisten. Kondisi ini menunjukkan bahwa deteksi dini kesulitan belajar matematika memerlukan pendekatan multidimensi yang tidak hanya bergantung pada satu jenis data.

Dari aspek temporal, Nimy dkk. (2023) menemukan bahwa minggu ke-6 merupakan periode paling optimal untuk mengidentifikasi siswa berisiko, dengan tingkat akurasi sekitar 92,8% dan penurunan ketidakpastian model hingga 60% pada tahap akhir pembelajaran. Temuan ini menegaskan bahwa efektivitas prediksi tidak hanya dipengaruhi oleh kualitas data, tetapi juga oleh waktu pengambilan data. Oleh karena itu, pembaruan prediksi secara berkala menjadi penting untuk meningkatkan ketepatan sistem deteksi dini.

Perspektif lain dikemukakan oleh Adnan dkk. (2021), yang menyoroti pentingnya data keterlibatan siswa (*clickstream*), skor asesmen, dan variabel berbasis waktu dalam memprediksi kinerja akademik maupun risiko *dropout*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa model *Random Forest* memberikan performa yang optimal pada berbagai fase pembelajaran daring. Temuan ini menguatkan pentingnya integrasi data akademik dan perilaku digital dalam meningkatkan akurasi prediksi sistem AI berbasis *learning analytics*.

Dalam konteks pembelajaran matematika, Bulut dkk. (2022) menemukan bahwa *screening* berbasis *machine learning* menggunakan data formatif awal mampu mengidentifikasi siswa dengan



risiko rendah prestasi matematika sejak jenjang sekolah dasar. Temuan tersebut menunjukkan bahwa deteksi dini tidak hanya relevan untuk mencegah kegagalan akademik, tetapi juga berpotensi mengurangi berkembangnya kesulitan numerasi dasar menjadi permasalahan belajar yang lebih kompleks pada tahap pendidikan berikutnya.

Lebih lanjut, penelitian Kennel dkk. (2025) dan Kennel dan Ruzika (2024) memberikan perspektif yang lebih spesifik melalui pemanfaatan data *eye tracking* pada tugas kalkulus grafis. Dengan menggunakan algoritma KNN, *Random Forest*, SVM, dan *Temporal Convolutional Network*, penelitian tersebut menunjukkan bahwa kesulitan konseptual siswa dapat diprediksi secara *real-time* dengan tingkat akurasi mendekati 80%, bahkan sebelum siswa menyelesaikan tugas. Temuan ini mengindikasikan bahwa AI tidak hanya mampu mengidentifikasi hasil belajar, tetapi juga mendeteksi pola berpikir dan kesulitan konseptual siswa selama proses penyelesaian masalah.

Pada tingkat sistem pembelajaran, Andriani dkk. (2025) menunjukkan bahwa integrasi AI dan *learning analytics* mampu menjelaskan 72,8% variasi prestasi matematika serta mengidentifikasi sekitar 89% permasalahan belajar sebelum evaluasi akhir dilakukan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem berbasis AI tidak hanya berfungsi sebagai alat prediksi, tetapi juga sebagai sarana diagnosis pembelajaran yang mendukung intervensi lebih awal dan lebih tepat sasaran.

Pada level yang lebih luas, *systematic review* yang dilakukan oleh Patrick Ngulube (2025) menunjukkan bahwa berbagai algoritma, mulai dari regresi logistik, SVM, hingga *ensemble* dan *neural network*, secara umum efektif dalam memprediksi capaian belajar dan mengidentifikasi siswa berisiko di pendidikan tinggi. Namun, penelitian tersebut menegaskan bahwa kualitas data, integritas etis, dan kesetaraan akses menjadi prasyarat utama keberhasilan implementasi sistem AI. Sejalan dengan itu, Toirova dkk. (2025) menyatakan bahwa akurasi model sangat dipengaruhi oleh konsistensi, kelengkapan, dan minimnya bias pada data yang digunakan. Temuan ini memperlihatkan bahwa kualitas data merupakan faktor fundamental dalam pengembangan sistem prediksi yang andal.

Selain akurasi, isu interpretabilitas model juga menjadi perhatian penting. Pei dan Xing (2022) mengembangkan *pipeline* yang tidak hanya menghasilkan prediksi akurat, tetapi juga bersifat *interpretable* sehingga memungkinkan guru memahami probabilitas risiko siswa dan memberikan intervensi yang lebih tepat. Susnjak (2024) bahkan menekankan perlunya pergeseran dari *predictive learning analytics* menuju *explainable artificial intelligence (XAI)* dan *prescriptive analytics* yang mampu menghasilkan rekomendasi pembelajaran berbasis bukti. Hal ini menunjukkan bahwa efektivitas AI dalam pendidikan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan prediksi, tetapi juga oleh sejauh mana hasil prediksi dapat dipahami dan dimanfaatkan oleh pendidik.

Akhirnya, integrasi AI dan *learning analytics* akan lebih efektif apabila dikombinasikan dengan mekanisme umpan balik serta dukungan pembelajaran yang nyata. Ouyang dkk. (2023) menunjukkan bahwa penggabungan model prediksi dengan *learning analytics* dan umpan balik kolaboratif mampu meningkatkan keterlibatan, performa kolaboratif, serta kepuasan belajar siswa. Di sisi lain, Ibrahim dkk. (2025) menegaskan bahwa AI melalui sistem adaptif, tutor virtual, dan diagnosis otomatis dapat meningkatkan pemahaman matematika serta keterlibatan siswa, meskipun tetap memerlukan perhatian terhadap akurasi, inklusivitas, dan kesesuaian dengan kebutuhan siswa yang beragam.

Secara keseluruhan, pembahasan ini menegaskan bahwa AI berbasis *learning analytics* memiliki potensi besar dalam mendukung deteksi dini kesulitan belajar matematika melalui kemampuan prediksi yang akurat, analisis perilaku belajar, serta pemberian intervensi yang lebih adaptif. Meskipun demikian, implementasi teknologi ini perlu mempertimbangkan kualitas data, aspek etika, interpretabilitas model, serta kesiapan pendidik agar hasil prediksi dapat diterapkan secara efektif dalam praktik pembelajaran.

Untuk memperjelas sintesis temuan penelitian, Tabel 1 menyajikan ringkasan aspek utama implementasi AI berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar matematika, termasuk temuan penelitian, implikasi terhadap pembelajaran, serta sumber pendukung.

Tabel 1. Ringkasan temuan utama penelitian terkait implementasi AI berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar matematika

Aspek Utama	Temuan Penelitian	Implikasi dalam Pembelajaran Matematika	Sumber
Akurasi prediksi risiko	Model <i>ensemble</i> dan hibrida mampu mencapai akurasi prediksi sekitar 94–98% dalam mengidentifikasi siswa berisiko (<i>at-risk</i>)	Mendukung pengembangan sistem peringatan dini (<i>early warning system</i>) untuk intervensi belajar yang lebih cepat dan tepat sasaran	Adnan dkk. (2021); Andriani dkk. (2025); Pek dkk. (2023)
Deteksi dini kesulitan matematika	<i>Multi-measure screening</i> dan pendekatan berbasis <i>eye tracking</i> mampu mengidentifikasi kesulitan belajar matematika sejak tahap awal	Memungkinkan pendidik memberikan intervensi sebelum kesulitan berkembang menjadi masalah belajar yang lebih kompleks	Bulut dkk. (2022); Kennel dkk. (2025); Kennel & Ruzika (2024)
Waktu dan dinamika prediksi	Minggu ke-6 menjadi periode optimal untuk identifikasi siswa berisiko; ketidakpastian model menurun seiring bertambahnya data	Prediksi perlu diperbarui secara berkala selama proses pembelajaran agar hasil lebih akurat	Adnan dkk. (2021); Nimy dkk. (2023)
Data dan performa model	Data akademik memberikan kontribusi terbesar terhadap akurasi prediksi dibandingkan data demografis	Pemanfaatan data asesmen dan aktivitas belajar dapat meningkatkan efektivitas deteksi dini	Pek dkk. (2023); Bulut dkk. (2022)
Etika dan interpretabilitas	Kualitas data, keadilan algoritmik (<i>fairness</i>), <i>Explainable Artificial Intelligence</i> (XAI), dan dukungan pedagogis memengaruhi keberhasilan implementasi	Pengembangan AI perlu memperhatikan transparansi model, etika, serta keterlibatan pendidik dalam penggunaan hasil prediksi	Patrick Ngulube (2025); Pei & Xing (2022); Susnjak (2024); Toirova dkk. (2025)
Integrasi umpan balik	Integrasi AI dengan <i>learning analytics</i> dan umpan balik kolaboratif meningkatkan keterlibatan serta performa belajar	Sistem prediksi lebih efektif apabila diikuti rekomendasi intervensi atau pembelajaran adaptif	Ouyang dkk. (2023); Ibrahim dkk. (2025)

Berdasarkan Tabel 1, terlihat bahwa keberhasilan implementasi AI berbasis *learning analytics* dalam deteksi dini kesulitan belajar matematika dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, yaitu akurasi model prediksi, kualitas dan keberagaman data, waktu pengambilan data, serta aspek etika dan interpretabilitas. Selain itu, integrasi sistem prediksi dengan mekanisme umpan balik dan intervensi pembelajaran menjadi elemen penting agar hasil prediksi dapat dimanfaatkan secara efektif dalam praktik pendidikan.

PENUTUP

Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, penelitian ini menyimpulkan bahwa implementasi *Artificial Intelligence* (AI) berbasis *learning analytics* efektif dalam mendukung deteksi dini kesulitan belajar matematika secara akurat dan sistematis. Berbagai pendekatan AI, mulai dari *machine learning* hingga model *ensemble*, telah dimanfaatkan dalam sistem peringatan dini (*early warning system*) untuk mengidentifikasi siswa berisiko (*at-risk*) dengan tingkat akurasi yang tinggi, yaitu berkisar antara 80% hingga 98%. Temuan penelitian menunjukkan bahwa data performa akademik menjadi indikator yang paling dominan dalam meningkatkan ketepatan prediksi, terutama ketika dikombinasikan dengan data perilaku belajar. Selain itu, algoritma seperti *Logistic Regression*, *Random Forest*, dan *Support Vector Machine* (SVM) menunjukkan performa yang optimal dalam memprediksi kesulitan belajar siswa.

Lebih lanjut, efektivitas deteksi dini dipengaruhi oleh waktu pengambilan data, di mana periode tertentu, seperti minggu ke-6 pembelajaran, menjadi titik optimal dalam memprediksi risiko belajar siswa. AI tidak hanya mampu mengidentifikasi capaian belajar, tetapi juga mendeteksi pola kesulitan konseptual secara lebih mendalam melalui analisis perilaku dan aktivitas belajar. Dengan demikian, integrasi AI dan *learning analytics* tidak hanya berperan dalam prediksi, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan pedagogis yang lebih adaptif, personal, dan berbasis data.

Meskipun demikian, implementasi AI berbasis *learning analytics* masih menghadapi berbagai tantangan, seperti kualitas data, isu etika dan privasi, keterbatasan interpretabilitas model, serta kesiapan pendidik dalam memanfaatkan hasil prediksi. Oleh karena itu, pengembangan sistem deteksi dini pada pembelajaran matematika perlu diarahkan pada pendekatan yang tidak hanya prediktif, tetapi juga transparan, adaptif, dan mampu mendukung intervensi pembelajaran secara efektif.

Saran

Berdasarkan temuan penelitian, secara praktis disarankan agar institusi pendidikan mulai mengintegrasikan sistem *Artificial Intelligence* (AI) berbasis *learning analytics* dalam pembelajaran matematika sebagai *early warning system* untuk mendeteksi siswa berisiko sejak dini. Implementasi tersebut perlu disertai dengan penguatan *data literacy* bagi guru agar mampu memanfaatkan hasil analisis dan *dashboard* pembelajaran dalam merancang intervensi pedagogis, seperti pemberian remedial adaptif maupun umpan balik personal. Selain itu, pengelolaan data perlu dilakukan secara sistematis dengan tetap memperhatikan aspek etika, privasi, dan keamanan data siswa.

Dari sisi teoretis, penelitian ini mendorong penguatan kerangka *data-driven learning* yang mengintegrasikan aspek kognitif, perilaku, dan afektif siswa dalam proses pembelajaran matematika. Pengembangan model *Explainable Artificial Intelligence* (XAI) juga perlu diprioritaskan agar hasil prediksi lebih transparan dan mudah diinterpretasikan oleh pendidik sehingga dapat digunakan secara optimal dalam praktik pembelajaran.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan dilakukan studi empiris berbasis eksperimen atau *design-based research* guna menguji implementasi AI secara langsung pada konteks pembelajaran nyata. Penelitian berikutnya juga dapat mengeksplorasi pemanfaatan data multimodal, seperti *eye tracking*, interaksi digital, dan aspek emosional siswa, serta mengkaji efektivitas intervensi berbasis prediksi dalam meningkatkan hasil belajar matematika secara berkelanjutan.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat dan karunia-Nya sehingga artikel ini dapat diselesaikan dengan baik. Ucapan terima kasih disampaikan kepada dosen



pembimbing atas arahan, bimbingan, dan masukan yang konstruktif selama proses penyusunan artikel. Penulis juga menyampaikan apresiasi kepada pihak Universitas Muslim Maros yang telah menyediakan fasilitas dan sumber belajar yang mendukung pelaksanaan penelitian ini. Selain itu, terima kasih diberikan kepada rekan-rekan mahasiswa atas dukungan, motivasi, serta diskusi yang turut memperkaya wawasan penulis selama proses penyusunan artikel. Apresiasi juga disampaikan kepada para peneliti terdahulu yang karya ilmiahnya menjadi referensi penting dalam kajian ini. Penulis menyadari bahwa artikel ini masih memiliki keterbatasan sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan sebagai bahan perbaikan pada penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Adnan, M., Habib, A., Ashraf, J., Mussadiq, S., Raza, A. A., Abid, M., Bashir, M., & Khan, S. U. (2021). Predicting at-risk students at different percentages of course length for early intervention using machine learning models. *IEEE Access*, 9, 7519–7539. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3049446>
- Albreiki, B., Zaki, N., & Alashwal, H. (2021). A systematic literature review of students' performance prediction using machine learning techniques. *Education Sciences*, 11(9), 552. <https://doi.org/10.3390/educsci11090552>
- Andrini, V. S., Hidayati, U., & Etika, E. D. (2025). Leveraging educational technology: Statistical evidence on AI's role in mathematics learning outcomes. *Edukasi: Jurnal Pendidikan*, 23(1), 114–129. <https://doi.org/10.31571/edukasi.v23i1.8754>
- Bulut, O., Cormier, D. C., & Yildirim-Erbasli, S. N. (2022). Optimized screening for at-risk students in mathematics: A machine learning approach. *Information*, 13(8), 400. <https://doi.org/10.3390/info13080400>
- Hwang, G.-J., & Tu, Y.-F. (2021). Roles and research trends of artificial intelligence in mathematics education: A bibliometric mapping analysis and systematic review. *Mathematics*, 9(6), 584. <https://doi.org/10.3390/math9060584>
- Ibrahim, J., Atef, D., Mohamed, R., Tarek, S., & Hamed, M. (2025). Handling learning mathematics challenges using AI. 43–23), 1(2, *البحوث التطبيقية في العلوم والانسانيات*). <https://doi.org/10.21608/aash.2025.454148>
- Issah, I., Appiah, O., Appiahene, P., & Inusah, F. (2023). A systematic review of the literature on machine learning application of determining the attributes influencing academic performance. *Decision Analytics Journal*, 7, 100204. <https://doi.org/10.1016/j.dajour.2023.100204>
- Kennel, K., Ishimaru, S., Küchemann, S., Steinert, S., Kuhn, J., & Ruzika, S. (2025). Gaze-based prediction of students' math difficulties—A time dynamic machine learning approach to enable early individual assistance. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 35(4), 1724–1748. <https://doi.org/10.1007/s40593-024-00447-5>
- Kennel, K., & Ruzika, S. (2024). Real-time prediction of students' math difficulties using raw data from eye tracking and neural networks. *Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction*, 8(ETRA), 1–19. <https://doi.org/10.1145/3655607>
- Namoun, A., & Alshantqiti, A. (2020). Predicting student performance using data mining and learning analytics techniques: A systematic literature review. *Applied Sciences*, 11(1), 237. <https://doi.org/10.3390/app11010237>
- Nimy, E., Mosia, M., & Chibaya, C. (2023). Identifying at-risk students for early intervention—A probabilistic machine learning approach. *Applied Sciences*, 13(6), 3869. <https://doi.org/10.3390/app13063869>
- Ouyang, F., Wu, M., Zheng, L., Zhang, L., & Jiao, P. (2023). Integration of artificial intelligence performance prediction and learning analytics to improve student learning in online



- engineering course. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 4. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00372-4>
- Ngulube, P. (2025). Identifying at-risk students with data analytics and machine learning: Insights from a systematic review. *Journal of Information Systems Engineering and Management*, 10(43s), 1235–1253. <https://doi.org/10.52783/jisem.v10i43s.9227>
- Pei, B., & Xing, W. (2022). An interpretable pipeline for identifying at-risk students. *Journal of Educational Computing Research*, 60(2), 380–405. <https://doi.org/10.1177/073563312111038168>
- Pek, R. Z., Ozyer, S. T., Elhage, T., Ozyer, T., & Alhaji, R. (2023). The role of machine learning in identifying students at-risk and minimizing failure. *IEEE Access*, 11, 1224–1243. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3232984>
- Psyridou, M., Koponen, T., Tolvanen, A., Aunola, K., Lerkkanen, M.-K., Poikkeus, A.-M., & Torppa, M. (2024). Early prediction of math difficulties with the use of a neural networks model. *Journal of Educational Psychology*, 116(2), 212–232. <https://doi.org/10.1037/edu0000835>
- Rusdial Marta, F., Fadhilaturrahmi, F., & Zulfah. (2025). Artificial intelligence (AI) dalam pembelajaran matematika: Kajian bibliometrik penelitian. *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, 3(4), 3236–3245. <https://doi.org/10.31004/jerkin.v3i4.1044>
- Susnjak, T. (2024). Beyond predictive learning analytics modelling and onto explainable artificial intelligence with prescriptive analytics and ChatGPT. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 34(2), 452–482. <https://doi.org/10.1007/s40593-023-00336-3>
- Toirova, G., Kosimov, A., Fayziyeva, M., Topvoldiev, K., Yusupova, T., & Turdaliev, D. (2025). Machine learning models for identifying at-risk students: Applications and challenges in higher education. *2025 International Conference on Frontier Technologies and Solutions (ICFTS)*, 1–9. <https://doi.org/10.1109/ICFTS62006.2025.11031749>
-