



The Application of Machine Learning Algorithms in Analyzing Students' Conceptual Error Patterns in Science Learning

Mohammad Santosa Mulyo Diningrat^{1*}, Faizatul Mabruroh², Herma Widya², Nurhamidah²

¹Program Studi Manajemen Logistik Industri Elektronika

Politeknik APP Jakarta, Indonesia

Jl. Timbul No.34, Cipadak, Kec. Jagakarsa, Kota Jakarta Selatan.

²Program Studi Pendidikan Fisika, Fakultas Ilmu Tarbiyah dan Keguruan

UIN Raden Fatah Palembang, Indonesia

Jl. Prof. K. H. Zainal Abidin Fikri Km.3, Kota Palembang.

*e-mail: msantosamd@kemenperin.go.id

DOI: <https://doi.org/10.52434/jpif.v5i1.42586>

Accepted: May 20, 2025 Approved: May 31, 2025 Published: Juni 6, 2025

ABSTRACT

Science education often faces challenges related to conceptual errors made by students, which can hinder their understanding of the material being taught. This study aims to identify and analyze common conceptual errors through the application of machine learning algorithms. The method employed in this research is a literature review approach, where various relevant studies are analyzed to understand the application of machine learning in the context of science education. The findings of the study indicate that several machine learning algorithms, such as large language models and interactive visualization techniques, can be utilized to detect misconceptions in students with higher accuracy and provide more personalized feedback. Although there are some challenges related to the accuracy and reliability of the systems used, the application of these techniques shows significant potential in enhancing the effectiveness of science education. Overall, the application of machine learning in science education can make a substantial contribution to helping teachers analyze and correct the conceptual errors made by students, ultimately improving the quality of the learning process. The implications of this research suggest the need for further development to create technology-based education systems that can better respond to students' learning needs.

Keywords: machine learning algorithms, misconception analysis, science education, educational technology, interactive visualization

Penerapan Algoritma Machine Learning dalam Analisis Pola Kesalahan Konseptual Siswa pada Pembelajaran Sains

ABSTRAK

Pembelajaran Sains sering kali menghadapi tantangan terkait dengan kesalahan konseptual yang terjadi pada siswa, yang dapat menghambat pemahaman materi yang diajarkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan menganalisis kesalahan konseptual yang umum terjadi

melalui penerapan algoritma *machine learning*. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan tinjauan literatur, di mana berbagai studi terdahulu yang relevan dianalisis untuk memahami penerapan *machine learning* dalam konteks pendidikan Sains. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sejumlah algoritma *machine learning*, seperti model bahasa besar dan teknik visualisasi interaktif, dapat dimanfaatkan untuk mendeteksi miskonsepsi yang terjadi pada siswa dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi serta memberikan umpan balik yang lebih personal. Meskipun terdapat beberapa tantangan terkait dengan akurasi dan keandalan sistem yang digunakan, penerapan teknik-teknik ini menunjukkan potensi yang signifikan dalam meningkatkan efektivitas pembelajaran Sains. Secara keseluruhan, penerapan *machine learning* dalam pembelajaran Sains dapat memberikan kontribusi yang besar dalam membantu guru untuk menganalisis dan memperbaiki kesalahan konseptual yang dilakukan oleh siswa, yang pada akhirnya akan meningkatkan kualitas pembelajaran itu sendiri. Implikasi dari penelitian ini adalah perlunya pengembangan lebih lanjut untuk menciptakan sistem pendidikan berbasis teknologi yang dapat merespons dengan lebih baik terhadap kebutuhan belajar siswa.

Kata kunci: algoritma *machine learning*, analisis kesalahan konseptual, pembelajaran Sains, teknologi pendidikan, visualisasi interaktif

PENDAHULUAN

Pembelajaran Sains merupakan komponen esensial dalam sistem pendidikan, karena tidak hanya memberikan pemahaman dasar mengenai dunia sekitar, tetapi juga membekali siswa dengan keterampilan berpikir kritis dan analitis yang sangat diperlukan dalam menghadapi tantangan di dunia modern. Dalam kerangka kurikulum pendidikan, tujuan utama dari pembelajaran Sains adalah untuk memfasilitasi siswa dalam memahami fenomena alam serta menerapkan konsep-konsep ilmiah yang telah dipelajari dalam kehidupan sehari-hari (Henukh et al., 2024; Muhajir et al., 2025). Meskipun memiliki peran yang sangat penting, pembelajaran Sains sering kali dihadapkan pada berbagai tantangan, baik dari sisi kompleksitas materi yang diajarkan maupun dari segi metode pengajaran yang kurang efektif. Salah satu tantangan utama yang sering muncul adalah kesalahan konseptual yang dialami oleh siswa, di mana mereka mengalami kesulitan dalam memahami atau menghubungkan berbagai konsep yang ada dalam Sains, yang pada akhirnya dapat menghambat perkembangan pemahaman mereka terhadap materi yang lebih kompleks dan lanjutan (Chew & Cerbin, 2021; Irvani, Warliani, & Fauziyyah, 2020; Manfreda Kolar & Hodnik, 2021; Mason & Zaccoletti, 2021).

Tantangan lainnya adalah kurangnya pendekatan yang tepat untuk mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan konseptual tersebut. Meskipun banyak pendekatan yang sudah digunakan untuk memperbaiki pemahaman siswa dalam Sains, masih banyak yang belum optimal dalam mendeteksi dan mengatasi masalah-masalah tersebut secara efektif (Heidari & Jabraeil Jamali, 2023; Schwartz et al., 2022; Yazdinejad et al., 2023). Oleh karena itu, dibutuhkan inovasi dalam metode pembelajaran, salah satunya dengan memanfaatkan teknologi untuk menganalisis dan mengidentifikasi kesalahan-konseptual siswa secara lebih akurat (Alfiansyah et al., 2022; Irvani, Warliani, & Amarulloh, 2020). Penerapan *machine learning* dalam analisis pola kesalahan konseptual diharapkan dapat menjadi solusi untuk masalah ini, dengan memanfaatkan data dan algoritma yang mampu mengenali kesalahan siswa secara lebih tepat dan memberikan umpan balik yang konstruktif (Hooda et al., 2022; Maier & Klotz, 2022; Ulfa et al., 2024). Dengan demikian, penting untuk mengembangkan sistem yang dapat membantu pendidik dalam memahami kesalahan siswa dan meningkatkan kualitas pembelajaran Sains secara keseluruhan.

Miskonsepsi siswa dalam pembelajaran Sains adalah masalah yang umum ditemui dalam pendidikan (Kieser et al., 2023; Kwon et al., 2021; Ramdani et al., 2021). Konsep ini merujuk pada kesalahan atau pemahaman yang salah dari siswa terhadap suatu materi atau fenomena ilmiah yang diajarkan. Hal ini dapat terjadi ketika siswa tidak mampu menghubungkan konsep-konsep yang telah dipelajari sebelumnya dengan konsep-konsep baru yang lebih kompleks, atau ketika mereka memiliki pemahaman yang keliru tentang prinsip-prinsip ilmiah yang mendasari suatu topik. Misalnya, banyak siswa yang menganggap bahwa suhu yang tinggi selalu disertai dengan tekanan yang tinggi, padahal dalam beberapa kondisi, kedua variabel ini tidak selalu berhubungan secara langsung. Kesalahan-kesalahan seperti ini dapat menghambat proses pembelajaran mereka dan memperburuk pemahaman mereka terhadap materi yang lebih lanjut (Christiani et al., 2021; Irvani, 2022; Smart et al., 2024). Oleh karena itu, mengenali dan mengatasi kesalahan konseptual tersebut merupakan hal yang sangat penting dalam pendidikan Sains.

Dalam upaya untuk mengatasi kesalahan konseptual siswa, teknologi, khususnya *machine learning*, dapat berperan besar. Dengan kemajuan teknologi yang pesat, *machine learning* memungkinkan analisis data yang lebih mendalam dan lebih cepat, termasuk dalam mengidentifikasi pola kesalahan konseptual yang sering dilakukan oleh siswa (Hilbert et al., 2021; Touretzky et al., 2023; Zhai et al., 2022). Teknologi ini dapat memproses sejumlah besar data yang dihasilkan selama pembelajaran, seperti jawaban tes atau interaksi siswa dengan materi pembelajaran, dan kemudian mengidentifikasi area di mana kesalahan konseptual paling sering terjadi. Melalui algoritma yang dapat mengenali pola, *machine learning* memberikan wawasan yang lebih akurat tentang kesalahan siswa, bahkan sebelum kesalahan tersebut berkembang menjadi masalah yang lebih besar. Selain itu, *machine learning* juga memungkinkan untuk memberikan umpan balik yang lebih personal dan tepat, membantu siswa untuk memperbaiki pemahaman mereka secara lebih efisien (Gm et al., 2024; Luan & Tsai, 2021; Maier & Klotz, 2022). Dengan demikian, penerapan *machine learning* dalam pembelajaran Sains dapat menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan kualitas pembelajaran dan membantu siswa dalam mengatasi kesalahan konseptual yang mereka hadapi.

Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi penerapan algoritma *machine learning* dalam menganalisis pola kesalahan konseptual yang terjadi pada siswa dalam pembelajaran Sains. Seiring dengan kemajuan teknologi di bidang pendidikan, penerapan *machine learning* menunjukkan potensi yang besar dalam mengidentifikasi dan memahami kesalahan-kesalahan yang sering dilakukan oleh siswa dalam menguasai konsep-konsep ilmiah. Penelitian ini bertujuan untuk memberikan wawasan mengenai bagaimana algoritma *machine learning* dapat digunakan untuk membantu guru atau pendidik dalam mendeteksi kesalahan konseptual dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dan dalam waktu yang lebih tepat, sehingga memungkinkan mereka untuk memberikan umpan balik yang lebih personal dan efektif kepada siswa.

Ruang lingkup yang akan dibahas terbatas pada penerapan algoritma *machine learning* yang relevan untuk menganalisis kesalahan konseptual dalam pembelajaran Sains. Fokus utama akan diberikan pada algoritma yang dapat digunakan untuk memproses data yang dihasilkan selama interaksi siswa dengan materi pembelajaran, seperti hasil ujian atau latihan, dan bagaimana algoritma tersebut dapat mengenali pola kesalahan yang sering muncul. Penelitian ini juga akan mencakup analisis tentang jenis kesalahan konseptual yang umum terjadi pada siswa dalam

berbagai topik Sains, seperti fisika, kimia, dan biologi. Batasan topik ini penting untuk menjaga fokus penelitian agar tetap relevan dengan tujuan utama, yaitu meningkatkan efektivitas pembelajaran Sains dengan memanfaatkan teknologi *machine learning* dalam menganalisis dan mengatasi kesalahan konseptual siswa.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan *literature review*, yang bertujuan untuk mengkaji berbagai studi terdahulu mengenai penerapan algoritma *machine learning* dalam konteks pendidikan, dengan fokus utama pada analisis kesalahan konseptual siswa. Dalam pendekatan ini, berbagai penelitian yang relevan akan dianalisis secara kritis untuk memahami bagaimana *machine learning* digunakan untuk mendeteksi dan mengatasi kesalahan konseptual yang sering terjadi dalam pembelajaran Sains (Ady et al., 2024; Hernandi et al., 2024). *Literature review* ini akan memberikan gambaran menyeluruh tentang tren, hasil, dan metodologi yang telah diterapkan, serta mengevaluasi efektivitas berbagai algoritma dalam membantu pengajaran dan pembelajaran yang lebih baik.

Kriteria pemilihan literatur dalam penelitian ini mengacu pada sumber-sumber yang terdaftar di *database* jurnal bereputasi dan terindeks *Scopus*, yang dikenal dengan kualitas dan kredibilitasnya dalam dunia akademik. Proses pemilihan literatur menggunakan fitur “*Advanced search*” kata kunci “(*TITLE-ABS-KEY (machine AND learning AND algorithms) AND TITLE-ABS-KEY (student AND misconceptions) AND TITLE-ABS-KEY (science AND learning)*)” untuk memastikan bahwa hanya penelitian yang memiliki hubungan langsung dengan topik utama, yaitu penerapan algoritma *machine learning* dalam analisis kesalahan konseptual siswa dalam pembelajaran Sains, yang dipertimbangkan. Dengan demikian, literatur yang dipilih diharapkan dapat memberikan wawasan yang komprehensif dan terpercaya untuk mendukung kajian ini.

Literatur yang terkumpul akan dianalisis dengan pendekatan tematik dan komparatif untuk mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai penerapan *machine learning* dalam mendeteksi dan menganalisis pola kesalahan konseptual siswa. Setiap studi yang dianalisis akan dievaluasi berdasarkan metodologi yang digunakan, algoritma *machine learning* yang diterapkan, serta hasil dan temuan yang relevan dengan kesalahan konseptual dalam pembelajaran Sains. Proses ini juga akan mengidentifikasi kesenjangan penelitian yang ada dan perbandingan antara berbagai pendekatan, sehingga dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang efektivitas dan tantangan dalam penerapan *machine learning* di bidang pendidikan. Dengan demikian, analisis ini diharapkan dapat mengungkap wawasan baru yang dapat diterapkan dalam pengembangan strategi pengajaran berbasis teknologi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan pencarian literatur yang dilakukan melalui *database Scopus*, diperoleh lima artikel yang relevan dengan topik penerapan *machine learning* dalam analisis kesalahan konseptual siswa. Artikel-artikel tersebut dipilih berdasarkan kriteria pemilihan yang ketat dan relevansi topik yang sesuai dengan fokus penelitian ini. Kelima artikel yang terpilih memberikan kontribusi signifikan dalam memahami bagaimana *machine learning* digunakan untuk mendeteksi dan menganalisis pola kesalahan konseptual dalam pembelajaran Sains. Daftar artikel-artikel ini

disajikan secara rinci pada Tabel 1, yang mencakup informasi tentang judul, penulis, tahun publikasi, serta temuan utama yang terkait dengan penerapan algoritma *machine learning*.

Tabel 1. Daftar Ringkasan Artikel dari Penelusuran *Database Scopus*

No.	Judul (Penulis, Tahun)	Sumber	Temuan Utama
1	<i>Exploring Explainability and Transparency in Automated Essay Scoring Systems: A User-Centered Evaluation</i> (Hall et al., 2024)	<i>International Conference on Human-Computer Interaction</i>	Kejelasan dan transparansi penjelasan serta umpan balik dari sistem penilaian esai otomatis sangat penting untuk meningkatkan pemahaman, kepercayaan, dan pengalaman pengguna, sehingga membantu pengembangan sistem yang lebih efektif dan dapat diterima di lingkungan pendidikan. Faktor-faktor seperti kejelasan penjelasan, dampak dan kegunaan umpan balik, serta pemahaman pengguna terhadap sistem menjadi pertimbangan utama dalam evaluasi dan perbaikan AES
2	<i>Can Large Language Models Recognize and Respond to Student Misconceptions?</i> (Smart et al., 2024)	<i>International Conference on Human-Computer Interaction</i>	Model bahasa besar (LLM) mampu mengenali dan memberikan respons terhadap miskonsepsi siswa, terutama jika model tersebut telah dilatih secara khusus. Namun, LLM masih sering memberikan umpan balik yang kurang tepat atau tidak relevan, serta mengalami penurunan akurasi pada bahasa selain Inggris.
3	<i>Data science knowledge integration: Affordances of a computational cognitive apprenticeship on student conceptual understanding</i> (Sánchez-Peña et al., 2023)	<i>Computer Applications in Engineering Education</i>	Pendekatan <i>computational cognitive apprenticeship</i> dengan menggunakan buku catatan komputasi interaktif dapat membantu mahasiswa memahami konsep algoritma <i>K-means</i> dalam <i>machine learning</i> dengan lebih baik. Meskipun sebagian besar mahasiswa berhasil mengidentifikasi tujuan dan faktor yang mempengaruhi algoritma, beberapa masih memiliki kesalahpahaman, seperti menganggap <i>plotting</i> sebagai tujuan utama algoritma dan mengharapkan hasil yang deterministik. Pendekatan ini terbukti efektif dalam mendukung integrasi pengetahuan dan mengatasi kesalahan konsep mahasiswa.
4	<i>Comparing feature engineering approaches to predict complex programming behaviors</i> (Wang et al., 2020)	<i>4th Educational Data Mining in Computer Science Education Workshop, CSEDM 2020</i>	Penelitian ini membandingkan tiga pendekatan ekstraksi fitur dari kode program untuk mengklasifikasikan perilaku kompleks dalam proyek pemrograman game di platform Scratch. Hasil penelitian menunjukkan bahwa meskipun ketiga pendekatan, yaitu BoW, n-Gram, dan pq-Gram, menunjukkan kinerja yang serupa dalam tugas klasifikasi, semua pendekatan cenderung mengalami overfitting. Hal ini menunjukkan perlunya penelitian lebih lanjut untuk memilih dan mengurangi fitur kode yang dapat meningkatkan kinerja model, terutama dalam dataset dengan ketidakseimbangan kelas yang besar.

No.	Judul (Penulis, Tahun)	Sumber	Temuan Utama
5	<i>Zero shot learning for code education: Rubric sampling with deep learning inference</i> (Wu et al., 2019)	<i>Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence</i>	Penelitian ini mengatasi tantangan "Zero-Shot Feedback" dalam pendidikan pemrograman dengan memperkenalkan pendekatan rubric sampling yang memanfaatkan pembelajaran mendalam untuk memberikan umpan balik otomatis pada tugas pemrograman, bahkan tanpa data historis. Metode ini berhasil memberikan umpan balik yang akurat untuk siswa yang baru pertama kali mengerjakan tugas, dan kinerjanya mendekati tingkat ketelitian manusia. Hasil eksperimen pada dataset dari platform Code.org menunjukkan bahwa model yang menggunakan rubric sampling dapat memberikan umpan balik yang lebih baik daripada pendekatan yang mengandalkan data historis besar, serta dapat menghasilkan dataset sintetik yang berguna untuk pelatihan lebih lanjut.

Artikel 1 menyoroti temuan penting terkait penerapan *explainability* dan *transparency* dalam sistem penilaian esai otomatis (AES). Salah satu temuan utama adalah bahwa baik siswa maupun penilai sangat menghargai umpan balik yang jelas dan dapat ditindaklanjuti, sehingga mereka memahami alasan di balik skor yang diberikan serta dapat memperbaiki kualitas tulisan mereka (Hall et al., 2024). Temuan ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menegaskan bahwa AI yang dapat dijelaskan (*explainable AI*) meningkatkan kepercayaan dan keterlibatan pengguna, khususnya di bidang pendidikan, di mana umpan balik harus dapat dipahami dan mendukung hasil belajar (Lundberg et al., 2020; Rudin, 2019). Studi ini juga menemukan adanya kekhawatiran pengguna terhadap keadilan dan potensi bias dalam penilaian otomatis, yang juga menjadi perhatian utama dalam literatur terkait risiko algoritma yang tidak transparan pada pengambilan keputusan penting (Veale et al., 2018).

Selain itu, penelitian ini menekankan pentingnya desain teknologi pendidikan yang berpusat pada pengguna. Penulis menemukan bahwa antarmuka yang intuitif dan algoritma yang transparan tidak hanya meningkatkan pengalaman pengguna, tetapi juga membangun rasa percaya diri dan kendali atas sistem. Hal ini sejalan dengan temuan dalam studi interaksi manusia-komputer yang menegaskan bahwa transparansi dan *explainability* merupakan prasyarat penting untuk penerapan AI yang bertanggung jawab di bidang pendidikan (Liu et al., 2024). Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip ini, sistem AES dapat lebih efektif mendukung proses penilaian formatif maupun sumatif, sehingga kemajuan teknologi benar-benar memberikan manfaat nyata bagi peserta didik dan pendidik.

Temuan penting dari Artikel 2 adalah bahwa *Large Language Models* (LLMs) seperti GPT-4, LLaMA3, dan Mistral mampu mengidentifikasi kesalahan dan kekurangan dalam penjelasan kode mahasiswa, tetapi sering kali menghasilkan "*hallucination*"—yaitu mendeteksi masalah yang sebenarnya tidak ada, terutama pada respons yang sudah benar dan lengkap. Dalam studi ini, sekitar 27% respons LLM pada data yang benar tetap mengada-ada mendeteksi masalah, dan pada respons dengan kesalahan minor, angka ini naik menjadi 34%. Temuan ini sejalan dengan penelitian lain yang menyoroti tantangan dalam menjaga kebenaran dan keandalan model ketika

digunakan untuk meniru perilaku atau kesalahan siswa, yang menunjukkan bahwa pelatihan LLM untuk mereplika miskonsepsi siswa dapat menurunkan kemampuan penalaran dan kebenaran faktual model itu sendiri (Elsayed, 2024; Shao et al., 2025; Smart et al., 2024).

Selain itu, artikel ini menegaskan bahwa pendekatan *fine-tuning* dan *preference alignment* secara signifikan meningkatkan kualitas umpan balik yang dihasilkan LLM. Dengan teknik *Odds Ratio Preference Optimization* (ORPO), peningkatan kualitas umpan balik bisa mencapai 15% dibandingkan *baseline prompting*, dan pada model *open-source* seperti LLaMA3 dan Mistral, *fine-tuning* berbasis preferensi manusia mampu meningkatkan relevansi dan kegunaan umpan balik hingga 35%. Temuan ini konsisten dengan literatur tentang *Reinforcement Learning from Human Feedback* (RLHF) dan *preference alignment*, yang telah terbukti efektif dalam menyesuaikan perilaku LLM agar lebih sesuai dengan preferensi dan kebutuhan manusia, serta meningkatkan relevansi, kejujuran, dan keamanan respons model (Smart et al., 2024).

Secara keseluruhan, hasil riset ini menyoroti potensi LLM untuk mengotomatisasi penilaian dan pemberian umpan balik dalam pendidikan, namun juga memperingatkan risiko bias, *hallucination*, dan perlunya pengembangan lebih lanjut agar model benar-benar mampu mendeteksi miskonsepsi secara tepat dan memberikan umpan balik yang bermanfaat. Hal ini memperkuat pentingnya pendekatan *fine-tuning* dan *preference alignment* dalam pengembangan sistem pendidikan berbasis AI yang adaptif dan andal.

Artikel 3 mengeksplorasi integrasi konsep Ilmu Data (DS) dalam pendidikan teknik melalui pemagangan kognitif komputasional. Fokus utamanya adalah pada peningkatan pemahaman konseptual siswa tentang algoritme pembelajaran mesin, khususnya metode *K-means* tanpa pengawasan. Para penulis menyoroti pentingnya penggunaan visualisasi interaktif, yang disampaikan melalui buku catatan komputasional, untuk membantu integrasi pengetahuan. Pendekatan ini memungkinkan siswa untuk terlibat secara aktif dengan konsep, memvisualisasikan proses algoritme, dan memperoleh pengetahuan strategis tentang pelaksanaannya. Hasilnya menunjukkan bahwa sebagian besar siswa memahami aspek penting dari algoritme *K-means*, seperti pengelompokan, *minimisasi centroid*, dan sifat iteratif dari proses tersebut. Namun, beberapa kesalahpahaman muncul, khususnya mengenai sifat algoritme dan ekspektasi deterministiknya.

Salah satu temuan utama artikel 3 ini adalah peran penting buku catatan komputasional dalam mendorong integrasi pengetahuan. Alat-alat ini memungkinkan siswa untuk bereksperimen dengan data waktu nyata, memanipulasi variabel, dan melihat efeknya secara langsung, sehingga memberikan representasi konkret dari konsep abstrak. Siswa dapat mengaitkan pengetahuan yang mereka miliki dengan perilaku algoritma, yang membantu mengoreksi kesalahpahaman. Visualisasi interaktif tidak hanya meningkatkan pemahaman siswa tentang cara kerja algoritma, tetapi juga mendorong refleksi yang lebih mendalam tentang keterbatasan algoritma dan faktor-faktor yang memengaruhi keakuratannya. Namun, beberapa kesalahpahaman, seperti keyakinan bahwa *K-means* selalu menghasilkan jawaban yang "benar" atau bahwa *plotting* adalah tujuan utama, tetap ada, yang menunjukkan perlunya penyempurnaan lebih lanjut dalam metode dan alat pengajaran. Hal ini sejalan dengan temuan penelitian sebelumnya yang mengidentifikasi kesulitan yang dihadapi siswa dalam memahami sifat iteratif dan probabilistik dari algoritma pembelajaran mesin.

Artikel 4 membahas perbandingan tiga pendekatan dalam ekstraksi fitur kode untuk klasifikasi perilaku kompleks dalam proyek pemrograman yang dikerjakan oleh pemula. Pendekatan yang diuji adalah *Bag-of-Words* (BoW), *n-Gram*, dan *pq-Gram*, yang diambil dari pohon sintaksis abstrak (AST) kode pemrograman. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi perilaku terkait permainan dalam proyek *Scratch*, sebuah platform pemrograman berbasis blok yang populer di kalangan pemula. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa meskipun ketiga pendekatan menghasilkan performa yang mirip, BoW menunjukkan hasil yang lebih buruk pada perilaku yang lebih kompleks, seperti "*PlatformerJump*", yang memerlukan banyak kode tersebar di berbagai *sprite* dan skrip. Namun, semua pendekatan menunjukkan tanda-tanda *overfitting*, terutama ketika data pelatihan terbatas, yang mengindikasikan perlunya pendekatan seleksi fitur untuk meningkatkan keakuratan model.

Dari temuan ini, penulis menyimpulkan bahwa meskipun pendekatan ekstraksi fitur lebih ekspresif seperti *pq-Gram* memiliki potensi untuk menangani perilaku yang lebih kompleks, masalah *overfitting* tetap menjadi tantangan besar dalam penerapannya pada *dataset* yang lebih kecil. Penurunan dimensi dan seleksi fitur yang lebih baik dianggap sebagai langkah penting untuk mengurangi masalah ini, dan penelitian lebih lanjut diperlukan untuk mengeksplorasi cara-cara untuk memperbaiki representasi fitur dalam menghadapi *dataset* terbatas

Artikel kelima membahas tantangan dalam memberikan umpan balik otomatis untuk pendidikan komputer, khususnya dalam konteks pembelajaran pemrograman. Penelitian ini mengusulkan pendekatan baru yang disebut *rubric sampling*, yang menggabungkan pengetahuan dari para ahli untuk memberikan umpan balik pada tugas pemrograman meskipun tidak ada data historis yang tersedia. Pendekatan ini memungkinkan pemberian umpan balik yang sangat akurat bahkan pada siswa pertama yang mengerjakan tugas, tanpa membutuhkan banyak data pelatihan yang biasanya diperlukan oleh metode pembelajaran terawasi. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa metode ini dapat memberikan umpan balik dengan akurasi yang mendekati tingkat manusia, bahkan lebih baik dibandingkan dengan algoritma berbasis data besar yang ada sebelumnya (Wu et al., 2019).

Keunggulan lain dari teknik ini adalah kemampuannya untuk mengaitkan umpan balik dengan bagian-bagian tertentu dari solusi siswa, serta kemampuan untuk menjelaskan kesalahan yang dibuat oleh siswa dengan bahasa yang dapat dipahami oleh pengajar. Metode ini diuji pada *dataset* dari platform pembelajaran Code.org yang digunakan oleh jutaan siswa di seluruh dunia. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa rubrik sampling tidak hanya meningkatkan akurasi prediksi umpan balik, tetapi juga dapat melacak perkembangan siswa dari waktu ke waktu, memberikan wawasan yang lebih dalam tentang area kesulitan mereka, serta meningkatkan pemahaman pengajaran dalam pendidikan pemrograman. Pendekatan ini mengatasi beberapa tantangan yang ada pada metode pembelajaran mesin tradisional yang memerlukan banyak data dan anotasi manual, menjadikannya solusi yang potensial untuk skala pendidikan global (Wu et al., 2019).

Artikel-artikel yang dianalisis dalam pembahasan ini memiliki benang merah yang kuat terkait penerapan *machine learning* dalam analisis kesalahan konseptual siswa, khususnya dalam konteks pendidikan sains dan pemrograman. Secara keseluruhan, kelima artikel tersebut menyoroti penggunaan teknologi untuk meningkatkan pemahaman siswa terhadap konsep-konsep yang sulit, seperti algoritma pembelajaran mesin dan pemrograman. Artikel pertama (Hall et al., 2024) dan kedua (Smart et al., 2024) menggarisbawahi pentingnya umpan balik yang jelas dan dapat dipercaya, serta bagaimana model bahasa besar dan sistem penilaian otomatis dapat

digunakan untuk membantu mengidentifikasi dan merespons miskonsepsi siswa. Meskipun demikian, artikel-artikel ini juga menunjukkan tantangan yang dihadapi dalam memastikan akurasi dan keandalan umpan balik yang diberikan, dengan risiko "*hallucination*" dan bias yang perlu diatasi.

Sementara itu, artikel ketiga (Sánchez-Peña et al., 2023) dan keempat (Wang et al., 2020) memperkenalkan pendekatan yang lebih teknis, seperti penggunaan buku catatan komputasional interaktif dan analisis fitur dalam kode pemrograman untuk mendeteksi kesalahan konseptual. Kedua artikel ini menekankan pentingnya visualisasi interaktif dan seleksi fitur yang tepat untuk meningkatkan pemahaman siswa, terutama dalam topik yang kompleks seperti algoritma *K-means* dan pemrograman. Terakhir, artikel kelima (Wu et al., 2019) menambahkan dimensi baru dengan mengusulkan metode *rubric sampling* untuk memberikan umpan balik pada tugas pemrograman tanpa data historis, yang memberikan solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan model berbasis data besar. Secara keseluruhan, kelima artikel ini saling melengkapi dalam menggambarkan berbagai pendekatan *machine learning* yang dapat digunakan untuk mendukung pendidikan dan mengatasi miskonsepsi siswa di berbagai konteks.

Secara keseluruhan, kelima artikel yang dibahas memberikan wawasan mendalam tentang penerapan *machine learning* dalam mengidentifikasi dan mengatasi kesalahan konseptual siswa, baik dalam pembelajaran sains maupun pemrograman. Meskipun terdapat tantangan terkait keandalan dan akurasi umpan balik, pendekatan-pendekatan inovatif yang diusulkan, seperti *explainable AI*, *fine-tuning* model bahasa besar, serta penggunaan visualisasi interaktif dan *rubric sampling*, menunjukkan potensi besar teknologi ini dalam mendukung pembelajaran yang lebih efektif dan adaptif. Dengan mengintegrasikan prinsip-prinsip transparansi, keterbukaan, dan umpan balik yang jelas, serta terus menyempurnakan metode dan alat yang digunakan, penelitian ini membuka jalan bagi pengembangan sistem pendidikan berbasis AI yang lebih dapat diandalkan, yang tidak hanya meningkatkan pemahaman siswa, tetapi juga memfasilitasi pengajaran yang lebih responsif terhadap kebutuhan individu.

KESIMPULAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan algoritma *machine learning* memiliki potensi besar dalam menganalisis dan mengatasi kesalahan konseptual siswa dalam pembelajaran Sains. Dengan memanfaatkan teknologi ini, kita dapat mengidentifikasi pola kesalahan siswa dengan lebih cepat dan akurat, serta memberikan umpan balik yang lebih personal dan konstruktif. Berdasarkan hasil literatur yang dikumpulkan, berbagai pendekatan *machine learning*, seperti penggunaan model bahasa besar, visualisasi interaktif, dan teknik *rubric sampling*, telah terbukti efektif dalam mendeteksi miskonsepsi dan meningkatkan pemahaman siswa. Meskipun ada tantangan terkait dengan keandalan dan akurasi sistem, hasil penelitian ini membuka jalan bagi pengembangan sistem pendidikan yang lebih adaptif, di mana teknologi dapat berperan dalam memberikan pengalaman belajar yang lebih efektif dan responsif terhadap kebutuhan individu siswa. Dengan penerapan *machine learning*, diharapkan kualitas pembelajaran Sains dapat meningkat, membantu siswa mengatasi kesalahan konseptual mereka, serta mendukung pengajaran yang lebih efektif di masa depan..

REFERENSI

- Ady, W. N., Muhajir, S. N., & Irvani, A. I. (2024). Meningkatkan Keterampilan Berpikir Kritis Siswa SMA melalui Model Problem Based Learning Berbantuan Permainan Tradisional. *JURNAL PENDIDIKAN MIPA*, 14(3), 772–785. <https://doi.org/10.37630/jpm.v14i3.1775>
- Alfiansyah, A. F., Septianti, R. P., Qolbi, W. N., & Irvani, A. I. (2022). Berkembangnya Pemanfaatan E-Learning pada Proses Pembelajaran Fisika di MAN 1 Garut Selama Masa Pandemi. *JURNAL Pendidikan dan Ilmu Fisika*, 2(2), 117–124. <https://doi.org/10.52434/JPIF.V2I2.1880>
- Chew, S. L., & Cerbin, W. J. (2021). The cognitive challenges of effective teaching. *The Journal of Economic Education*, 52(1), 17–40.
- Christiani, M., Munzil, M., & Yulianti, E. (2021). Identifikasi miskonsepsi materi getaran dan gelombang pada siswa SMP kelas VIII menggunakan three-tier test. *Jurnal MIPA dan Pembelajarannya (JMIPAP)*, 1(4), 304–321.
- Elsayed, H. (2024). The Impact of Hallucinated Information in Large Language Models on Student Learning Outcomes: A Critical Examination of Misinformation Risks in AI-Assisted Education. *Northern Reviews on Algorithmic Research, Theoretical Computation, and Complexity*, 9(8), 11–23.
- Gm, D., Goudar, R. H., Kulkarni, A. A., Rathod, V. N., & Hukkeri, G. S. (2024). A digital recommendation system for personalized learning to enhance online education: A review. *IEEE Access*, 12, 34019–34041.
- Hall, E., Seyam, M., & Dunlap, D. (2024). Exploring Explainability and Transparency in Automated Essay Scoring Systems: A User-Centered Evaluation. *International Conference on Human-Computer Interaction*, 266–282.
- Heidari, A., & Jabraeil Jamali, M. A. (2023). Internet of Things intrusion detection systems: a comprehensive review and future directions. *Cluster Computing*, 26(6), 3753–3780.
- Henukh, A., Riandi, R., Setiawan, A., Rochintaniawati, D., Irvani, A. I., & Suba, J. M. (2024). Dynamic Evaluation of the Merdeka Curriculum: Unveiling the Effectiveness of Science Lesson Planning, Implementation and the Response of Junior High School Students. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, 12(3), 683–692. <https://doi.org/10.24815/jpsi.v12i3.38540>
- Hernandi, A., Warliani, R., & Irvani, A. I. (2024). Keterampilan Berpikir Kritis Siswa dalam Pembelajaran Fisika dengan Model Talking Stick. *JPF (Jurnal Pendidikan Fisika) Universitas Islam Negeri Alauddin Makassar*, 12(2), 71–90. <https://doi.org/10.24252/jpf.v12i2.50769>
- Hilbert, S., Coors, S., Kraus, E., Bischl, B., Lindl, A., Frei, M., Wild, J., Krauss, S., Goretzko, D., & Stachl, C. (2021). Machine learning for the educational sciences. *Review of Education*, 9(3), e3310.
- Hooda, M., Rana, C., Dahiya, O., Rizwan, A., & Hossain, M. S. (2022). Artificial intelligence for assessment and feedback to enhance student success in higher education. *Mathematical Problems in Engineering*, 2022(1), 5215722.
- Irvani, A. I. (2022). Merancang Media Pembelajaran Berdasarkan Bagaimana Siswa Belajar.

Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains, 5(1), 1–9. <https://doi.org/10.52188/jpfs.v5i1.205>

- Irvani, A. I., Warliani, R., & Amarulloh, R. R. (2020). Pelatihan Pemanfaatan Teknologi Informasi Komunikasi Sebagai Media Pembelajaran. *Jurnal PkM MIFTEK*, 1(1), 35–41. <https://doi.org/10.33364/MIFTEK/V.1-1.35>
- Irvani, A. I., Warliani, R., & Fauziyyah, S. A. (2020). Analysis of Students Problem Solving Skill from Online Worksheets with Integration of Video Demonstration. *Proceeding ISETH (International Summit on Science, Technology, and Humanity)*, 140–144. <https://proceedings.ums.ac.id/iseth/article/view/1282>
- Kieser, F., Wulff, P., Kuhn, J., & Küchemann, S. (2023). Educational data augmentation in physics education research using ChatGPT. *Physical Review Physics Education Research*, 19(2), 20150.
- Kwon, K., Ottenbreit-Leftwich, A. T., Brush, T. A., Jeon, M., & Yan, G. (2021). Integration of problem-based learning in elementary computer science education: effects on computational thinking and attitudes. *Educational Technology Research and Development*, 69, 2761–2787.
- Liu, Q., Pinto, J. D., & Paquette, L. (2024). Applications of explainable ai (xai) in education. In *Trust and Inclusion in AI-Mediated Education: Where Human Learning Meets Learning Machines* (hal. 93–109). Springer.
- Luan, H., & Tsai, C.-C. (2021). A review of using machine learning approaches for precision education. *Educational Technology & Society*, 24(1), 250–266.
- Lundberg, S. M., Erion, G., Chen, H., DeGrave, A., Prutkin, J. M., Nair, B., Katz, R., Himmelfarb, J., Bansal, N., & Lee, S.-I. (2020). From local explanations to global understanding with explainable AI for trees. *Nature machine intelligence*, 2(1), 56–67.
- Maier, U., & Klotz, C. (2022). Personalized feedback in digital learning environments: Classification framework and literature review. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 3, 100080.
- Manfreda Kolar, V., & Hodnik, T. (2021). Mathematical literacy from the perspective of solving contextual problems. *European Journal of Educational Research*, 10(1), 467–483.
- Mason, L., & Zaccoletti, S. (2021). Inhibition and conceptual learning in science: A review of studies. *Educational Psychology Review*, 33(1), 181–212.
- Muhajir, S. N., Irvani, A. I., Mulvia, R., Fitriyani, F., & Lestari, R. T. (2025). The implementation of PeSACCS (Peer and Self-Assessment for Collaboration and Communication Skills) in experimental class. *WaPFI (Wahana Pendidikan Fisika)*, 10(1), 33–44.
- Ramdani, A., Jufri, A. W., Gunawan, G., Fahrurrozi, M., & Yustiqvar, M. (2021). Analysis of students' critical thinking skills in terms of gender using science teaching materials based on the 5E learning cycle integrated with local wisdom. *Jurnal Pendidikan IPA Indonesia*, 10(2), 187–199.
- Rudin, C. (2019). Stop explaining black box machine learning models for high stakes decisions and use interpretable models instead. *Nature machine intelligence*, 1(5), 206–215.
- Sánchez-Peña, M., Vieira, C., & Magana, A. J. (2023). Data science knowledge integration:

- Affordances of a computational cognitive apprenticeship on student conceptual understanding. *Computer Applications in Engineering Education*, 31(2), 239–259.
- Schwartz, R., Schwartz, R., Vassilev, A., Greene, K., Perine, L., Burt, A., & Hall, P. (2022). *Towards a standard for identifying and managing bias in artificial intelligence* (Vol. 3). US Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology
- Shao, Z., Yuan, S., Gao, L., He, Y., Yang, D., & Chen, S. (2025). Unlocking Scientific Concepts: How Effective Are LLM-Generated Analogies for Student Understanding and Classroom Practice? *Proceedings of the 2025 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, 1–19.
- Smart, F., Bos, N. D., & Bos, J. T. (2024). Can Large Language Models Recognize and Respond to Student Misconceptions? *International Conference on Human-Computer Interaction*, 288–299.
- Touretzky, D., Gardner-McCune, C., & Seehorn, D. (2023). Machine learning and the five big ideas in AI. *International Journal of Artificial Intelligence in Education*, 33(2), 233–266.
- Ulfa, S., Irvani, A. I., & Warliani, R. (2024). Pengembangan Modul Ajar Fisika Kurikulum Merdeka. *Jurnal Pendidikan Fisika dan Sains (JPFS)*, 7(1), 51–59. <https://doi.org/10.52188/jpfs.v7i1.562>
- Veale, M., Van Kleek, M., & Binns, R. (2018). Fairness and accountability design needs for algorithmic support in high-stakes public sector decision-making. *Proceedings of the 2018 chi conference on human factors in computing systems*, 1–14.
- Wang, W., Rao, Y., Shi, Y., Milliken, A., Martens, C., Barnes, T., & Price, T. W. (2020). Comparing Feature Engineering Approaches to Predict Complex Programming Behaviors. *CSEDM@ EDM*.
- Wu, M., Mosse, M., Goodman, N., & Piech, C. (2019). Zero shot learning for code education: Rubric sampling with deep learning inference. *Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence*, 33(01), 782–790.
- Yazdinejad, A., Dehghantanha, A., Parizi, R. M., Srivastava, G., & Karimipour, H. (2023). Secure intelligent fuzzy blockchain framework: Effective threat detection in iot networks. *Computers in Industry*, 144, 103801.
- Zhai, X., He, P., & Krajcik, J. (2022). Applying machine learning to automatically assess scientific models. *Journal of Research in Science Teaching*, 59(10), 1765–1794.