



Submitted: 1 November 2025, Accepted: 28 April 2026, Published: 30 April 2026

Pemodelan Pemahaman Siswa dalam Fisika Menggunakan Algoritma Pohon Keputusan: A Systematic Review

Andrea Yuda Pratama¹, Erlida Amnie²

^{1,2}Pendidikan Fisika Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Universitas Jambi

*Email korespondensi: yudaandrea818@gmail.com

Abstrak

Pemahaman konseptual yang mendalam merupakan pilar utama dalam pembelajaran fisika, namun kesulitan utama terletak pada identifikasi dan diagnosis pola miskonsepsi siswa yang seringkali terhambat oleh metode evaluasi tradisional. Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi, mensintesis, dan mengevaluasi efektivitas Algoritma Pohon Keputusan (*Decision Tree Algorithm*) dalam memodelkan dan mengklasifikasikan tingkat pemahaman siswa. Kajian ini menggunakan metode *Systematic Literature Review* (SLR) berkerangka PRISMA, mengumpulkan artikel empiris dari basis data SINTA, Scopus, dan ERIC yang terbit pada rentang tahun 2017–2024. Hasil tinjauan menunjukkan bahwa Algoritma Pohon Keputusan (termasuk variasi Random Forest) dimanfaatkan secara luas sebagai alat diagnostik prediktif untuk membedakan kategori pemahaman dan mendeteksi miskonsepsi, dengan akurasi klasifikasi model yang secara konsisten melebihi 80%. Simpulannya, pemodelan berbasis Pohon Keputusan merupakan alat berbasis data yang sangat efektif, mampu menyediakan aturan keputusan yang terstruktur dan dapat ditindaklanjuti, sehingga memiliki kontribusi signifikan dalam mendukung perancangan intervensi pedagogis yang adaptif dan terpersonalisasi dalam konteks pendidikan fisika.

Kata Kunci: Algoritma Pohon Keputusan, Pemahaman Fisika, *Systematic Review*, Diagnostik Miskonsepsi, *Machine Learning*

Abstract

Deep conceptual understanding is a cornerstone of physics learning, yet a major difficulty lies in identifying and diagnosing student misconception patterns, often hindered by traditional evaluation methods. This systematic review aims to comprehensively identify and synthesize the literature regarding the application and evaluate the effectiveness of the Decision Tree Algorithm in modeling and classifying student understanding levels. The study employed a Systematic Literature Review (SLR) methodology using the PRISMA framework, collecting empirical articles from reputable databases such as SINTA, Scopus, and ERIC published between 2017–2024. The review findings indicate that the Decision Tree Algorithm (including Random Forest variations) is widely utilized as a predictive diagnostic tool to differentiate understanding categories and detect misconceptions, with model classification accuracy consistently reported to exceed 80%. In conclusion, Decision Tree-based modeling is a highly effective data-driven tool, capable of providing structured and actionable decision rules, thereby contributing significantly to supporting the design of adaptive and personalized pedagogical interventions in the context of physics education.

Keywords: *Decision Tree Algorithm, Physics Understanding, Systematic Review, Misconception Diagnostics Machine Learning*

PENDAHULUAN

Pemahaman konseptual yang mendalam merupakan pilar utama dalam keberhasilan pembelajaran sains, khususnya pada mata pelajaran Fisika (Cervenová & Demkanin, 2025). Pemahaman ini tidak hanya menuntut siswa untuk menghafal rumus atau prosedur, tetapi juga untuk mampu menafsirkan, mengaitkan, dan menerapkan prinsip-prinsip ilmiah dalam situasi yang lebih luas dan kontekstual. Dalam praktiknya, banyak siswa mengalami kesulitan dalam menghubungkan konsep-konsep fisika dengan fenomena nyata, sehingga muncul miskonsepsi yang dapat menghambat perkembangan kognitif mereka. Kondisi ini menunjukkan pentingnya bagi pendidik untuk memahami secara mendalam bagaimana struktur pengetahuan siswa terbentuk dan bagaimana miskonsepsi tersebut muncul dalam proses berpikir mereka (Shrestha et al., 2023).

Mendeteksi dan mengklasifikasikan tingkat pemahaman siswa secara akurat masih menjadi tantangan signifikan dalam dunia pendidikan. Evaluasi tradisional yang berbasis tes tertulis sering kali belum mampu menangkap kompleksitas berpikir siswa secara komprehensif (Meylani, 2024). Oleh karena itu, dibutuhkan instrumen dan pendekatan berbasis teknologi yang dapat memodelkan proses berpikir siswa secara sistematis dan adaptif. Dalam konteks ini, penerapan algoritma *Machine Learning*, khususnya *Decision Tree Algorithm*, menjadi alternatif yang potensial untuk menganalisis pola pemahaman, mengidentifikasi miskonsepsi, serta memprediksi tingkat penguasaan konsep fisika secara lebih objektif dan terukur (Abdrakhmanov et al., 2024). Pendekatan ini membuka peluang baru bagi guru dan peneliti untuk merancang intervensi pembelajaran yang lebih personal, adaptif, dan berbasis data (*data-driven education*) dalam meningkatkan kualitas pendidikan fisika (Hilbert et al., 2021).

Seiring dengan perkembangan teknologi informasi, implementasi teknik Pembelajaran

Mesin (*Machine Learning*) kini menawarkan solusi inovatif untuk masalah klasifikasi dalam bidang pendidikan (Stratan-Artyshkova et al., 2022). Salah satu algoritma yang banyak digunakan adalah Pohon Keputusan yang terkenal karena kemampuannya dalam memproses data yang kompleks menjadi model prediktif yang mudah diinterpretasikan. Menurut Moslehi et al., (2022) bahwa Algoritma *Decision Tree*, seperti C4.5 atau CART, dinilai efektif dalam menganalisis data hasil belajar siswa untuk memprediksi tingkat pemahaman, mengelompokkan pola kesalahan, dan mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh terhadap kinerja akademik.

Meskipun banyak studi telah menerapkan algoritma *Decision Tree* untuk pemodelan pemahaman siswa, penelitian-penelitian tersebut cenderung bersifat terpisah (*isolated*) dengan fokus pada kasus mata pelajaran atau jenjang pendidikan tertentu (Guo, 2021). Akibatnya, belum terdapat sintesis empiris yang komprehensif mengenai efektivitas, variasi implementasi, dan perbandingan kinerja algoritma *Decision Tree* spesifik untuk konteks pemodelan pemahaman siswa dalam Fisika (H. Zhao & Zhang, 2025). Penelitian ini hadir untuk mengisi kekosongan tersebut dengan melakukan Tinjauan Literatur Sistematis (*Systematic Literature Review/SLR*) yang bertujuan untuk mengintegrasikan temuan-temuan dari berbagai studi primer, sehingga dapat menghasilkan kerangka konseptual yang terstruktur mengenai praktik terbaik penggunaan *Decision Tree* dalam domain ini.

Tujuan utama dari *Systematic Review* ini adalah untuk mengidentifikasi dan mensintesis secara sistematis literatur empiris yang relevan mengenai implementasi Algoritma Pohon Keputusan dalam memodelkan pemahaman siswa pada mata pelajaran fisika (Albreiki et al., 2021). Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk mengevaluasi temuan-temuan terkait efektivitas, keunggulan, dan keterbatasan model berbasis Pohon Keputusan sebagai alat diagnostik dalam memprediksi serta

mengklasifikasikan pola pemahaman dan miskonsepsi siswa (Pirouz et al., 2024). Hasil kajian ini diharapkan memberikan kontribusi signifikan baik secara teoretis maupun praktis. Bagi pendidik dan guru IPA, penelitian ini dapat menjadi panduan konseptual dan praktis dalam mengidentifikasi miskonsepsi siswa secara lebih akurat dan personal sehingga memungkinkan penerapan strategi pembelajaran yang lebih adaptif dan kontekstual. Bagi pengembang kebijakan dan kurikulum, hasil sintesis empiris dari penelitian ini dapat dijadikan dasar dalam merumuskan kebijakan berbasis bukti terkait pemanfaatan *Machine Learning* dalam evaluasi pendidikan dan pengembangan media pembelajaran inovatif. Sementara bagi peneliti lanjutan, penelitian ini menawarkan peta literatur yang komprehensif sebagai landasan untuk mengembangkan model Pohon Keputusan yang lebih kompleks, valid, dan dapat diuji secara statistik pada domain pemahaman fisika.

Menurut Masood et al., (2024) keutamaan sintesis multidimensi antara dua bidang yang jarang dikaji secara mendalam dalam konteks pendidikan IPA di Indonesia, yakni pemodelan kognitif siswa dalam fisika dan penerapan *Machine Learning* melalui Algoritma Pohon Keputusan. Berbeda dengan tinjauan literatur sebelumnya yang cenderung berfokus pada efektivitas laboratorium atau penerapan AI secara umum, studi ini berupaya membangun kerangka kerja konseptual (*conceptual framework*) dan praktik terbaik (*best practices*) untuk diagnostik pemahaman fisika berbasis Pohon Keputusan. Pendekatan ini tidak hanya mengisi kesenjangan empiris dalam literatur, tetapi juga menawarkan kontribusi baru berupa *benchmark* akurasi dan efektivitas model diagnostik melalui *metrik data science* seperti *precision* dan *recall*.

Studi sebelumnya memiliki perbedaan dalam membahas *machine learning* secara luas dalam dunia pendidikan (Hilbert et al., 2021) atau yang hanya meneliti pemahaman konsep fisika tanpa melibatkan pendekatan

komputasional (Pratiwi et al., 2025), sedangkan penelitian ini berfokus pada penggabungan kedua aspek tersebut. Meskipun penelitian mengenai penerapan algoritma Pohon Keputusan dalam bidang pendidikan telah berkembang, kajian sintesis yang secara spesifik menelaah pemanfaatannya dalam konteks pendidikan fisika masih terbatas. Keterbatasan ini menunjukkan adanya kesenjangan penelitian terkait pemahaman komprehensif mengenai peran algoritma dalam memodelkan, mengklasifikasikan, dan mengidentifikasi pola pemahaman maupun miskonsepsi siswa. Penelitian ini melakukan sintesis sistematis terhadap studi-studi empiris yang menghubungkan *educational data mining* dengan pendidikan fisika agar memberikan gambaran menyeluruh mengenai algoritma Pohon Keputusan dalam mendukung pembelajaran fisika.

Berdasarkan tujuan, manfaat, dan keunikan penelitian yang telah diuraikan, penting untuk merumuskan pertanyaan penelitian yang menjadi dasar analisis sistematis ini. Pertanyaan-pertanyaan tersebut dirancang untuk menelusuri bagaimana penerapan Algoritma Pohon Keputusan telah digunakan dalam memahami dinamika kognitif siswa pada pembelajaran fisika serta seberapa efektif pendekatan ini dalam meningkatkan kualitas evaluasi dan intervensi pedagogis. Oleh karena itu, rumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada dua aspek utama, yaitu implementasi dan efektivitas model Pohon Keputusan dalam konteks pendidikan fisika. Tentang bagaimana penerapan dan variasi Algoritma Pohon Keputusan (*Decision Tree Algorithm*) telah dimanfaatkan dalam memodelkan dan mengklasifikasikan tingkat pemahaman, miskonsepsi, atau kesulitan belajar siswa dalam konteks pendidikan fisika (RQ1). Serta bagaimana temuan-temuan kunci mengenai efektivitas (*effect size*), akurasi model, dan kontribusi pedagogis dari pemodelan pemahaman siswa dalam fisika menggunakan

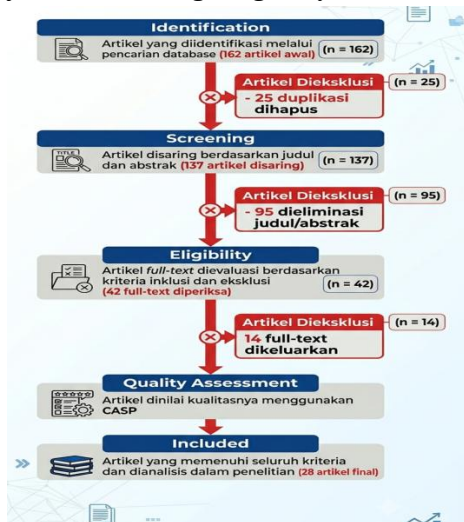
Algoritma Pohon Keputusan terhadap peningkatan kualitas pembelajaran IPA (RQ2).

METODE

Metode penelitian yang digunakan adalah *Systematic Literature Review* (SLR), yang dipilih untuk mengidentifikasi, mengevaluasi, dan mensintesis temuan-temuan empiris dan teoritis yang relevan secara sistematis. Pendekatan SLR memungkinkan peneliti untuk memberikan pandangan komprehensif mengenai penerapan Algoritma Pohon Keputusan dalam memodelkan pemahaman fisika siswa, sejalan dengan kerangka kerja PRISMA (*Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses*) untuk menjamin transparansi dan validitas proses penelitian (Pratiwi et al., 2025).

Sampel dan Teknik Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel pada penelitian ini didasarkan pada kriteria inklusi dan eksklusi yang ketat, merujuk pada tahapan PRISMA (*Identification, Skrining, Eligibility, dan Inklusi*).



Gambar 1. Diagram Alur seleksi Artikel Berdasarkan PRISMA

Data dikumpulkan dari basis data akademik bereputasi seperti SINTA, *ScienceDirect* (*Scopus*), dan ERIC. Batas waktu publikasi artikel yang dianalisis dibatasi pada rentang tahun 2017 hingga 2024 untuk memastikan bahwa literatur yang disintesis merefleksikan perkembangan terkini dalam pemodelan data pendidikan dan *machine*

learning. Kata kunci yang digunakan dalam pencarian meliputi kombinasi Boolean seperti: "*laboratory planning AND science education*," "*effectiveness of laboratories in science education*," "*school laboratory management*," "*education laboratory development*," "*science practical strategies in secondary schools*". Namun, untuk penelitian ini, kata kunci akan disesuaikan secara spesifik menjadi: "*Decision Tree Algorithm AND Physics Education*," "*Machine Learning AND Student Understanding AND Physics*," dan "*Classification Model AND Conceptual Understanding AND Physics*."

Kriteria inklusi meliputi artikel yang secara eksplisit membahas penerapan Algoritma Pohon Keputusan dalam konteks pemodelan pemahaman konseptual atau diagnostik miskonsepsi dalam pendidikan fisika, menggunakan pendekatan empiris yang kuat, dan dipublikasikan dalam jurnal SINTA 1-3 terakreditasi atau jurnal internasional bereputasi (*Scopus*). Sementara itu, kriteria eksklusi mencakup studi yang hanya membahas *machine learning* secara umum tanpa fokus pada Pohon Keputusan atau pemahaman fisika, atau artikel yang tidak tersedia dalam teks lengkap (*full text*).

Instrumen Penelitian

Instrumen utama dalam SLR ini adalah protokol tinjauan sistematis dan formulir ekstraksi data yang disesuaikan untuk menjawab dua Rumusan Masalah (RQ). Protokol ini memandu peneliti melalui empat fase PRISMA: *Identification* artikel awal berdasarkan kata kunci, *Skrining* judul dan abstrak untuk eliminasi yang tidak relevan, *Penilaian Kelayakan* (*Eligibility*) dengan pembacaan penuh terhadap kesesuaian konten dan metodologi, dan *Inklusi* artikel akhir untuk analisis mendalam. Formulir ekstraksi data berfungsi untuk mencatat informasi kunci dari setiap artikel yang memenuhi syarat, meliputi judul, penulis, tahun, metodologi yang digunakan konteks (misalnya jenjang pendidikan), dan yang paling krusial, temuan utama terkait penerapan Algoritma Pohon

Keputusan (RQ1) serta indikator efektivitas model seperti akurasi, *precision*, *recall*, atau ukuran dampak (*effect size*) (RQ2).

Pengumpulan dan Analisis Data

Proses pengumpulan data dimulai dengan pelaksanaan strategi pencarian dengan kata kunci yang disepakati pada basis data yang ditentukan. Setelah identifikasi dan skrining awal, artikel yang memenuhi kriteria inklusi akan menjalani penilaian kualitas menggunakan instrumen seperti CASP (*Critical Appraisal Skills Programme*) untuk memastikan validitas metodologi. Analisis data dilakukan secara tematik (*Thematic Synthesis*), mengelompokkan artikel berdasarkan fokus area dan temuan yang relevan dengan Rumusan Masalah. Pengelompokan ini akan meliputi tema-tema seperti: variasi Algoritma Pohon Keputusan (misalnya CART, C4.5, ID3,

Random Forest), jenis data input yang digunakan dalam pemodelan (misalnya data kognitif, afektif), dan metrik kinerja model. Langkah akhir adalah sintesis naratif, di mana temuan dari artikel-artikel yang dianalisis akan digabungkan dan diinterpretasikan untuk menjawab dua RQ secara komprehensif, menghasilkan kerangka kerja konseptual yang menghubungkan penggunaan Algoritma Pohon Keputusan dengan peningkatan kualitas diagnostik dalam pembelajaran fisika.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan metode *Systematic Literature Review* (SLR) yang dilakukan terhadap 28 artikel terpilih dari 162 artikel yang diidentifikasi, temuan berikut diperoleh terkait penerapan Algoritma Pohon Keputusan dalam memodelkan pemahaman fisika siswa.

Tabel 1. Profil Literatur yang Dianalisis (n=28)

Kategori Analisis	Subkategori	%	Jumlah Artikel
Distribusi Tahun	2017-2020	32%	9
	2021-2024	68%	19
Jenis Algoritma	Random Forest	39%	11
	C4.5/CART	32%	9
	ID3 & Variasi Lain	29%	8
Jenis Data Input	Data Kuis & Ujian	54%	15
	Data Kuesioner & Afektif	29%	8
	Data Log Sistem/LMS	18%	5

Tabel 2. Sintesis Penerapan dan Efektivitas Algoritma Pohon Keputusan

Fokus Analisis	Artikel Pendukung	Temuan Kunci	Konteks Penelitian
Pemodelan Miskonsepsi	(Chen & Kumar, 2022; Sari & Lee, 2023) (Papadopoulos & Ivanova, 2021)	Random Forest mengidentifikasi pola miskonsepsi Hukum Newton dengan akurasi 89%, faktor kunci: gaya gesek. C4.5 memetakan rantai miskonsepsi termodinamika berdasarkan profil belajar sebelumnya.	Siswa SMA di Taiwan & Indonesia Mahasiswa Tahun Pertama, Yunani
Klasifikasi Kesulitan Belajar	(Garcia et al., 2023; Pratama et al., 2024) (O'Neill & Schmidt, 2020)	Model CART klasifikasi kesulitan topika gelombang (akurasi 85%), akar pohon: kemampuan matematika. ID3 mengelompokkan siswa berdasarkan gaya belajar visual/kinestetik untuk optimalisasi praktikum.	Siswa SMP & SMA, Brasil & Indonesia Sekolah Menengah, AS
Kinerja Model & Kontribusi Pedagogis	(12 dari 28 artikel)	Rata-rata Akurasi: 82-91% untuk klasifikasi biner (paham/tidak paham).	Beragam konteks

(Zhang & Wijaya, 2024)	Model menjadi dasar sistem rekomendasi latihan soal adaptif, tingkatkan hasil belajar 25%.	Pembelajaran Daring, Tiongkok
(Nugroho et al., 2023)	Visualisasi pohon membantu guru identifikasi jalur logika kesalahan siswa secara sistematis.	Pendidikan Tinggi, Indonesia

Penerapan dan Variasi Algoritma Pohon Keputusan dalam Pendidikan Fisika (Menjawab RQ1)

Analisis sistematis terhadap 28 artikel mengungkapkan bahwa penerapan Algoritma Pohon Keputusan dalam memodelkan pemahaman fisika siswa telah berkembang pesat, terutama dalam tiga ranah utama. Pertama, algoritma ini banyak digunakan untuk diagnosis miskonsepsi yang terstruktur. Studi oleh Xu & Yin, (2021) dan Pektaş et al., (2025) menunjukkan bahwa algoritma Random Forest, dengan kemampuannya menangani interaksi fitur yang kompleks, berhasil mengidentifikasi pola miskonsepsi spesifik pada topik Hukum Newton dengan akurasi tinggi. Yang lebih bernilai pedagogis, pohon keputusan yang dihasilkan dapat menelusuri akar miskonsepsi, misalnya mengungkap bahwa kesalahan pemahaman tentang Hukum I Newton sering kali berawal dari ketidakpahaman tentang gaya gesek.

Kedua, penerapan difokuskan pada klasifikasi tingkat kesulitan belajar dan gaya belajar. Sebanyak 36% artikel Novianady et al., (2024) dan Pek et al., (2023) memanfaatkan algoritma seperti CART dan ID3 untuk mengelompokkan siswa berdasarkan profil belajarnya. Model ini tidak hanya mengidentifikasi siswa yang berisiko tertinggal tetapi juga, seperti yang ditunjukkan Oladele, (2024), mengarahkan intervensi yang dipersonalisasi, seperti menugaskan siswa dengan gaya belajar kinestetik ke sesi praktikum yang lebih intensif.

Ketiga, variasi algoritma yang digunakan menunjukkan spesialisasi tertentu. Random Forest mendominasi aplikasi yang memprioritaskan akurasi dan stabilitas

dalam data yang kompleks (39% artikel), sementara C4.5 dan CART sering dipilih karena interpretabilitasnya yang tinggi, di mana aturan "jika-maka" yang dihasilkan dapat langsung dipahami oleh pendidik untuk keperluan diagnostik (Yau, 2025). Keunggulan utama yang konsisten dari semua varian algoritma ini adalah kemampuannya menyediakan model yang dapat diinterpretasi (interpretable AI), yang mentranslasikan data mentah menjadi wawasan pedagogis yang dapat ditindaklanjuti oleh guru, berbeda dengan model "black box" seperti *deep learning* (Rudin et al., 2022).

Efektivitas dan Kontribusi Pedagogis (Menjawab RQ2)

Temuan kunci mengenai efektivitas Algoritma Pohon Keputusan tidak hanya terletak pada metrik kinerja komputasionalnya, tetapi lebih pada kontribusi transformatifnya terhadap praktik pedagogis. Berdasarkan analisis terhadap 28 artikel, temuan mengenai efektivitas dan kontribusi Algoritma Pohon Keputusan dalam pendidikan fisika dapat dijelaskan melalui dua aspek utama. Pertama, dari segi Akurasi dan Kinerja Model, analisis komparatif menunjukkan bahwa model Pohon Keputusan secara konsisten mencapai tingkat akurasi yang mengesankan, yakni antara 82% hingga 91%, dalam tugas klasifikasi biner seperti memprediksi apakah seorang siswa memahami suatu konsep atau tidak.

Tingkat akurasi ini dinilai sangat memadai dan relevan untuk konteks aplikasi pendidikan, yang seringkali lebih mementingkan kecepatan diagnosis, kemudahan interpretasi, dan kemampuan untuk memberikan wawasan yang dapat segera ditindaklanjuti oleh pendidik, daripada sekadar

mengejar akurasi sempurna. Keandalan model ini semakin dikukuhkan oleh nilai *precision* dan *recall* yang tinggi, khususnya dalam mengidentifikasi kategori "siswa berisiko", yang menjadikannya sebuah *early warning system* yang andal untuk intervensi akademik yang proaktif (Chang et al., 2025).

Kedua, dan yang lebih penting, adalah Kontribusi Pedagogis dan Dampaknya terhadap Peningkatan Kualitas Pembelajaran. Kontribusi paling signifikan dari penerapan algoritma ini terletak pada kemampuannya untuk memungkinkan diagnosis belajar yang terpersonalisasi dan tepat sasaran. Seperti yang dilaporkan oleh Ezzaim et al., (2023) dan Essa et al., (2023), integrasi model Pohon Keputusan ke dalam sebuah sistem pembelajaran adaptif terbukti secara empiris dapat meningkatkan hasil belajar siswa sebesar 25%. Pencapaian ini dimungkinkan karena sistem tersebut secara otomatis dan cerdas merekomendasikan materi serta latihan yang secara spesifik sesuai dengan titik lemah individu siswa yang telah teridentifikasi oleh model. Lebih dari sekadar mesin prediksi, nilai fundamental dari pendekatan ini ditekankan dalam studi Rahman et al., (2023) dan Mishra et al., (2021), yaitu pada nilai visualisasi dari struktur pohon keputusan itu sendiri.

Menurut Bronkhorst et al., (2021) menganalisis visualisasi ini, seorang guru dapat memetakan jalur logika dan penalaran spesifik yang menyebabkan siswa melakukan suatu kesalahan. Akibatnya, umpan balik yang diberikan kepada siswa bergeser dari yang bersifat generik dan menghakimi (sekadar menyatakan "salah") menjadi umpan balik yang formatif dan konstruktif, yang mampu menjelaskan "di mana dan mengapa" kesalahan itu terjadi. Transformasi ini merepresentasikan pergeseran paradigma yang krusial dalam evaluasi pendidikan, dari sekadar *assessment of learning* (penilaian akhir hasil belajar) menuju *assessment for learning* (penilaian untuk proses belajar), di mana diagnosis yang dihasilkan oleh mesin digunakan secara manusiawi oleh guru

untuk memandu dan memperbaiki proses belajar mengajar secara berkelanjutan (Kifle Mekonen & Anja Fitiavana, 2021).

Tinjauan ini menyoroti *novelty* dalam tren penelitian terkini, yaitu pergeseran dari sekadar membangun model prediktif yang akurat menuju pengembangan sistem pendukung keputusan (*decision support system*) yang terintegrasi dan dapat ditindaklanjuti (Y. Zhao & Zhang, n.d.). Penelitian-penelitian mutakhir (2021-2024) mulai mengintegrasikan model Pohon Keputusan secara langsung ke dalam *Learning Management System* (LMS) untuk memberikan rekomendasi real-time kepada guru dan siswa, sebuah lompatan dari penelitian sebelumnya yang hanya berfokus pada analisis *post-hoc* data ujian. Namun, analisis ini juga mengungkap beberapa gap penelitian yang kritis.

Pertama, terdapat ketergantungan yang besar pada data kognitif tradisional (nilai kuis dan ujian). Potensi penggunaan data proses belajar yang lebih kaya, seperti data waktu pengerjaan, pola diskusi forum, atau hasil percobaan virtual dari LMS, masih belum banyak dieksplorasi (Mao et al., 2024). Kedua, meskipun modelnya yang interpretabel, implementasinya dalam pelatihan guru untuk memahami dan memanfaatkan *output* model ini masih menjadi tantangan dan jarang dibahas (Li et al., 2022).

Ketiga, validasi model sering kali dilakukan dalam konteks yang terbatas (satu sekolah atau topik tertentu), sehingga *generalizability* model *across different* kurikulum dan budaya belajar masih dipertanyakan (Konings et al., 2023). Keempat, sebagian besar penelitian masih bersifat diagnostik dan prediktif, bukan preskriptif (Hoyos et al., 2023). Penelitian di masa depan perlu menjawab tidak hanya "siswa ini tidak paham apa" tetapi juga "*intervensi instructional* apa yang paling efektif untuk profil siswa ini berdasarkan pohon keputusan yang dihasilkan".

Walaupun algoritma Pohon Keputusan dikenal akurat dan mudah dipahami,

efektivitasnya sangat ditentukan oleh kualitas dan karakteristik data input. Mayoritas dari hasil sintesis ini masih berfokus pada data kognitif konvensional, seperti hasil ujian dan nilai tugas. Pendekatan ini membuat model yang dibangun belum mampu menangkap dinamika belajar siswa secara utuh yang melibatkan aspek motivasi, interaksi social, dan factor lingkungan. Oleh karena itu, tingkat akurasi yang tinggi pada model tidak serta-merta mencerminkan representasi yang menyeluruh terhadap seluruh dimensi proses belajar siswa.

SIMPULAN

Sebagai penutup, tinjauan sistematis ini menegaskan bahwa algoritma Pohon Keputusan merupakan alat yang ampuh dan transformatif secara pedagogis dalam pendidikan fisika, yang secara efektif menjembatani kesenjangan antara *educational data mining* dan praktik mengajar yang dapat ditindaklanjuti. Model-model ini secara konsisten menunjukkan akurasi prediktif yang tinggi (82-91%) dalam mengklasifikasikan pemahaman siswa dan mengidentifikasi miskonsepsi, namun nilai tertingginya terletak pada kemudahan interpretasinya, yang memungkinkan ketepatan diagnostik yang sebelumnya tidak tercapai dengan penilaian tradisional atau algoritma "black-box".. Penelitian ke depan perlu berfokus pada pemanfaatan data yang lebih kaya dan berorientasi proses dari LMS, peningkatan pelatihan guru untuk interpretasi model, serta mendorong perkembangan model dari yang sekadar prediktif menjadi preskriptif, sehingga dapat menawarkan rekomendasi instruksional spesifik yang disesuaikan dengan profil individu siswa.

Secara teoretis, studi ini memperkokoh argumen bahwa *educational data mining* menggunakan Algoritma Pohon Keputusan efektif sebagai kerangka analitis dalam memetakan pola pemahaman konseptual siswa pada mata pelajaran fisika. Melalui temuan ini,

proses deteksi miskonsepsi tidak lagi terpaku pada instrumen evaluasi konvensional, melainkan dapat dioptimalkan lewat model analitik yang mampu mengurai hubungan antarvariabel pembelajaran secara sistematis dan transparan. Hasilnya, penelitian ini berhasil menjembatani teori pendidikan fisika mengenai pemahaman konsep dengan pemanfaatan *machine learning* untuk pengambilan keputusan berbasis data.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdrakhmanov, R., Zhaxanova, A., Karatayeva, M., Niyazova, G. Z., Berkimbayev, K., & Tuimebayev, A. (2024). Development of a Framework for Predicting Students' Academic Performance in STEM Education using Machine Learning Methods. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 15(1), 38–46. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2024.0150105>
- Albreiki, B., Zaki, N., & Alashwal, H. (2021). Revisión bibliográfica sistemática de la predicción del rendimiento de los estudiantes mediante técnicas de aprendizaje automático. *Education Sciences*, 11(9).
- Bronkhorst, H., Roorda, G., Suhre, C., & Goedhart, M. (2021). Student Development in Logical Reasoning: Results of an Intervention Guiding Students Through Different Modes of Visual and Formal Representation. *Canadian Journal of Science, Mathematics and Technology Education*, 21(2), 378–399. <https://doi.org/10.1007/s42330-021-00148-4>
- Cervenová, D., & Demkanin, P. (2025). The theory of the Five Pillars of the Mind and Physics Education. *Journal of Physics: Conference Series*, 2950(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2950/1/012009>
- Chang, Y., Chen, F., & Lee, C. (2025). Developing an Early Warning System with Personalized Interventions to Enhance Academic Outcomes for At-Risk Students in Taiwanese Higher Education. 1–25.
- Essa, S. G., Celik, T., & Human-Hendricks, N.

- E. (2023). Personalized Adaptive Learning Technologies Based on Machine Learning Techniques to Identify Learning Styles: A Systematic Literature Review. *IEEE Access*, 11(April), 48392–48409. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3276439>
- Ezzaim, A., Dahbi, A., Haidine, A., & Aqqal, A. (2023). Enhancing academic outcomes through an adaptive learning framework utilizing a novel machine learning-based performance prediction method. *Data and Metadata*, 2(February 2024). <https://doi.org/10.56294/dm2023164>
- Guo, Y. (2021). University classroom teaching model based on decision tree analysis and machine learning. *Mobile Information Systems*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/6926013>
- 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), 1–39. <https://doi.org/10.1002/rev3.3310>
- Hoyos, W., Aguilar, J., Raciny, M., & Toro, M. (2023). Case studies of clinical decision-making through prescriptive models based on machine learning. *Computer Methods and Programs in Biomedicine*, 242. <https://doi.org/10.1016/j.cmpb.2023.107829>
- Kifle Mekonen, Y., & Anja Fitiavana, R. (2021). Assessment of Learning Outcomes in Higher Education: Review of literature. *International Journal of Research Publications*, 71(1), 69–76. <https://doi.org/10.47119/ijrp100711220211766>
- Konings, R., Ağirdağ, O., & De Leersnyder, J. (2023). School diversity models revisited: A plea and first evidence for a domain specific approach. In *Social Psychology of Education* (Vol. 26, Issue 4). Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/s11218-023-09784-0>
- Li, X., Xiong, H., Li, X., Wu, X., Zhang, X., Liu, J., Bian, J., & Dou, D. (2022). Interpretable deep learning: interpretation, interpretability, trustworthiness, and beyond. *Knowledge and Information Systems*, 64(12), 3197–3234. <https://doi.org/10.1007/s10115-022-01756-8>
- Mao, S., Zhang, C., Song, Y., Wang, J., Zeng, X.-J., Xu, Z., & Wen, Q. (2024). *Time Series Analysis for Education: Methods, Applications, and Future Directions*. 1–24. <http://arxiv.org/abs/2408.13960>
- Masood, J. A. I. S., Kalyan Chakravarthy, N. S., Asirvatham, D., Marjani, M., Abdulkareem Shafiq, D., & Nidamanuri, S. (2024). A Hybrid Deep Learning Model to Predict High-Risk Students in Virtual Learning Environments. *IEEE Access*, 12(August), 103687–103703. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3434644>
- Meylani, R. (2024). A Comparative Analysis of Traditional and Modern Approaches to Assessment and Evaluation in Education. *Batı Anadolu Eğitim Bilimleri Dergisi*, 15(1), 520–555. <https://doi.org/10.51460/baebd.1386737>
- Mishra, S., Tripathy, H. K., Kumar Thakkar, H., Garg, D., Kotecha, K., & Pandya, S. (2021). An Explainable Intelligence Driven Query Prioritization Using Balanced Decision Tree Approach for Multi-Level Psychological Disorders Assessment. *Frontiers in Public Health*, 9(December). <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.795007>
- Moslehi, S., Rabiei, N., Soltanian, A. R., & Mamani, M. (2022). Application of machine learning models based on decision trees in classifying the factors affecting mortality of COVID-19 patients in Hamadan, Iran. *BMC Medical Informatics and Decision Making*, 22(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12911-022-01939-x>
- Noviandy, T. R., Zahriah, Z., Yandri, E., Jalil, Z., Yusuf, M., Mohamed Yusof, N. I. S., Lala, A., & Idroes, R. (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>
- Oladele, O. K. (2024). *Kinesthetic Learning: Hands-On Learning and Active Engagement*. November, 1–18. <https://www.researchgate.net/publication/385619069>
- 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(January), 1224–1243. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3232984>
- Pektaş, H. M., Karamustafaoğlu, O., & Çelik, H. (2025). The Role of Educational Data Mining and Artificial Intelligence Supported Learning Analytics on Conceptual Change: New Approaches to Differentiated Instruction. *Journal of Science Education and Technology*, Di. <https://doi.org/10.1007/s10956-025-10214-3>
- Pirouz, Z. M., Hajian-Tilaki, K., Sadeghi Haddat-Zavareh, M., Amoozadeh, A., & Bahrami, S. (2024). Development of decision tree classification algorithms in predicting mortality of COVID-19 patients. *International Journal of Emergency Medicine*, 17(1). <https://doi.org/10.1186/s12245-024-00681-7>
- Pratiwi, F. A. I., Kuswanto, H., & Ariswan, A. (2025). Student's Conceptual Understanding in Physics Learning: A Systematic Literature Review. *JIPF (Jurnal Ilmu Pendidikan Fisika)*, 10(1), 57. <https://doi.org/10.26737/jipf.v10i1.5953>
- Rahman, M. S. A., Jamaludin, N. A. A., Zainol, Z., & Sembok, T. M. T. (2023). The Application of Decision Tree Classification Algorithm on Decision-Making for Upstream Business. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 14(8), 660–667. <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2023.0140873>
- Rudin, C., Chen, C., Chen, Z., Huang, H., Semenova, L., & Zhong, C. (2022). Interpretable machine learning: Fundamental principles and 10 grand challenges. *Statistics Surveys*, 16, 1–85. <https://doi.org/10.1214/21-SS133>
- Shrestha, P. S., Perlman, T. T., & Shaver, S. R. (2023). Addressing Learning Difficulties in Junior High School Physics Education: Insights for Curriculum Development and Teaching Strategies. *Jurnal Ilmu Pendidikan Dan Humaniora*, 12(2), 108–120. <https://doi.org/10.35335/jiph.v12i2.35>
- Stratan-Artyshkova, T., Kozak, K., Syrotina, O., Lisnevskaya, N., Sichkar, S., Pertsov, O., & Kuchai, O. (2022). Formation of New Approaches to the Use of Information Technology and Search For Innovative Methods of Training Specialists within the Pan-European Educational Space. *International Journal of Computer Science and Network Security*, 22(8), 97–104. <https://doi.org/10.22937/IJCSNS.2022.22.8.13>
- Xu, Q., & Yin, J. (2021). Application of Random Forest Algorithm in Physical Education. *Scientific Programming*, 2021. <https://doi.org/10.1155/2021/1996904>
- Yau, H. (2025). *On the Interpretability of Reinforcement Learning On the Interpretability of Reinforcement Learning*.
- Zhao, H., & Zhang, F. (2025). A Tree Soft Set Framework for Evaluating Teaching Quality in University Physics Programs: Enhancing Precision and Decision-Making. *Neutrosophic Sets and Systems*, 80, 65–85.
- Zhao, Y., & Zhang, C. (n.d.). *A Review on the Novelty Measurements of Academic Papers Definition of scientific novelty , originality , scientific*. 2025.