

Sistem Pakar Inklusif: Diagnosis Kesulitan Belajar Siswa dengan Teori Dempster-Shafer

Sri Rahayu Ningsih^{1,*}, Rohminatin¹, Rizaldi¹

¹ Program Studi Sistem Informasi, Universitas Royal, Indonesia

* Correspondence: srihayun1152@gmail.com

Copyright: © 2025 by the authors

Received: 19 Agustus 2025 | Revised: 27 Agustus 2025 | Accepted: 12 Oktober 2025 | Published: 3 Desember 2025

Abstrak

Kesulitan belajar merupakan permasalahan kompleks dalam pendidikan yang memerlukan diagnosis dini untuk mendukung pembelajaran yang efektif dan inklusif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pakar berbasis web menggunakan teori *Dempster-Shafer* untuk mendiagnosis kesulitan belajar siswa secara lebih komprehensif dibandingkan pendekatan konvensional seperti *Certainty Factor* atau *Fuzzy Logic*. Metode *Dempster-Shafer* dipilih karena kemampuannya mengelola ketidakpastian data dan gejala yang saling tumpang tindih. Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model *waterfall*, melalui tahap analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, dan pengujian sistem. Data dikumpulkan dari 50 siswa MAS Teladan Ujung Kubu melalui observasi guru, hasil ujian, serta kuesioner siswa dan orang tua. Hasil temuan kami menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengidentifikasi berbagai jenis kesulitan belajar seperti disleksia, diskalkulia, disgrafia, ADHD, serta kategori kesulitan ringan hingga berat. Sistem juga berhasil tanpa ada kendala berdasarkan hasil black box testing. Hasil ini membuktikan bahwa teori Dempster-Shafer efektif dalam menangani ketidakpastian diagnostik serta menghasilkan evaluasi multi-level yang lebih komprehensif. Sistem ini berpotensi diintegrasikan dengan artificial intelligence untuk mendukung pembelajaran adaptif dan personalisasi intervensi dalam e-learning berbasis inklusi.

Kata kunci: dempster-shafer; diagnosis kesulitan belajar; disleksia; sistem pakar; sistem pendukung keputusan

Abstract

Learning difficulties are complex issues in education that require early diagnosis to support effective and inclusive learning. This study aims to develop a web-based expert system using the Dempster-Shafer theory to diagnose students' learning difficulties more comprehensively than conventional approaches such as Certainty Factor or Fuzzy Logic. The Dempster-Shafer method was selected for its ability to manage data uncertainty and overlapping symptoms. The research employed a Research and Development (R&D) approach with the Waterfall model, involving the stages of requirement analysis, system design, implementation, and testing. Data were collected from 50 students at MAS Teladan Ujung Kubu through teacher observations, exam results, and questionnaires from both students and parents. The findings indicate that the developed system can identify various types of learning difficulties such as dyslexia, dyscalculia, dysgraphia, and ADHD as well as categorize them into mild, moderate, and severe levels. The system functioned effectively without errors based on black box testing results. These outcomes demonstrate that the Dempster-Shafer theory is effective in handling diagnostic uncertainty and producing multi-level, comprehensive evaluations. Furthermore, the system shows potential for integration with artificial intelligence to support adaptive learning and personalized interventions within inclusive e-learning environments.

Keywords: decision support system; dempster-shafer; dyslexia; expert system; learning difficulty diagnosis



PENDAHULUAN

Perkembangan pendidikan global saat ini semakin menekankan urgensi pembelajaran adaptif dan inklusif guna mengakomodasi keragaman kemampuan serta karakteristik peserta didik. Seiring meningkatnya kompleksitas kebutuhan belajar, isu *learning difficulties* menjadi perhatian penting karena berdampak langsung pada pencapaian akademik, kesejahteraan psikologis, dan motivasi siswa. Laporan UNESCO (2023) mengindikasikan bahwa 15–20% siswa di dunia mengalami satu atau lebih bentuk kesulitan belajar, termasuk disleksia, disgrafia, diskalkulia, maupun ADHD. Tantangan ini semakin menonjol di negara berkembang, termasuk Indonesia, akibat keterbatasan tenaga ahli, minimnya alat asesmen psikopedagogis, dan ketiadaan sistem diagnosis yang adaptif. Pada saat yang sama, transformasi digital mendorong pemanfaatan kecerdasan buatan dan sistem pakar (Rahmawati et al., 2024) sebagai solusi teknologi (Lakshmi et al., 2023; Sairete et al., 2021; Sari et al., 2022; Yadav & Shrawankar, 2025) untuk mendukung deteksi dan intervensi dini terhadap kesulitan belajar (Hu, 2024).

Secara teoretis, penelitian ini mendasarkan diri pada Teori Dempster–Shafer sebagai kerangka probabilistik yang memungkinkan pengelolaan ketidakpastian serta konflik antar-bukti. Teori ini memfasilitasi pemodelan *belief* dan *plausibility* terhadap suatu hipotesis melalui integrasi multi-sumber bukti tanpa mensyaratkan independensi antar-gejala sebagaimana pada pendekatan konvensional (Alizadehsani et al., 2024). Dalam konteks pendidikan, kemampuan teori ini dalam menangani data yang ambigu, tumpang tindih, dan tidak lengkap menjadikannya relevan untuk menganalisis kasus siswa dengan gejala komorbid, seperti kombinasi disleksia dan disgrafia. Walaupun Certainty Factor dan Fuzzy Logic banyak digunakan karena kemudahan dalam pemberian bobot kepastian atau derajat keanggotaan (Zolfagharnasab et al., 2025), kedua pendekatan tersebut kurang efektif dalam menghadapi konflik bukti dan cenderung menghasilkan nilai estimasi yang deterministik. Oleh karena itu, Teori Dempster–Shafer menawarkan pendekatan yang lebih adaptif untuk diagnosis berbasis data parsial dan tidak pasti, terutama ketika bukti berasal dari berbagai instrumen, termasuk observasi guru, hasil tes akademik, serta kuesioner siswa dan orang tua.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mencoba menerapkan teori Dempster–Shafer dalam bidang pendidikan, namun masih menunjukkan keterbatasan signifikan. Nugraheni et al. (2023) mengembangkan sistem pakar diagnosis kesulitan belajar berbasis Dempster–Shafer dan menunjukkan kemampuan metode ini dalam menangani gejala yang ambigu, meskipun penelitian tersebut belum menguji kinerja sistem secara empiris melalui pengujian fungsional atau pengguna nyata. Sementara itu, Anggrawan et al. (2023) membandingkan metode *Certainty Factor* dan Dempster–Shafer dalam diagnosis gangguan belajar anak, dan menemukan bahwa *Certainty Factor* masih unggul secara marginal pada kondisi data lengkap, tetapi Dempster–Shafer lebih adaptif ketika data gejala tidak lengkap atau tumpang tindih. Kajian lain oleh (Fajariyanti et al., 2022) menggunakan pendekatan berbasis aturan (*rule-based expert system*) untuk mengklasifikasikan jenis kesulitan belajar anak usia sekolah, namun pendekatan tersebut hanya mampu menghasilkan satu diagnosis tunggal tanpa mempertimbangkan kemungkinan diagnosis ganda atau tingkat keparahan gejala.

Selain itu, penelitian Yactayo-Arias, (2024) menunjukkan bahwa sistem pakar berbasis *hybrid Dempster–Shafer* dan *Bayesian Networks* dapat meningkatkan akurasi diagnosis disleksia dan disgrafia hingga 95%, tetapi fokusnya masih pada konteks medis dan belum diterapkan secara praktis di lingkungan pendidikan sekolah. Secara umum, hasil temuan sebelumnya menunjukkan bahwa potensi teori *Dempster–Shafer* dalam domain pendidikan masih belum dimanfaatkan secara optimal, terutama dalam konteks diagnosis multi-level dan multi-sumber data yang mencerminkan kondisi siswa di sekolah nyata.

Pengembangan sistem pakar untuk diagnosis kesulitan belajar telah banyak dilakukan, namun sebagian besar penelitian masih terbatas pada satu jenis gangguan sehingga belum

mampu merepresentasikan tumpang tindih gejala yang umum muncul pada siswa. Pendekatan *Certainty Factor* dan *Fuzzy Logic* memang sering digunakan, tetapi keduanya memiliki kelemahan dalam mengelola ketidakpastian parsial serta konflik antar-bukti (Anggrawan et al., 2023; Fajariyanti et al., 2022; Muhidin et al., 2025). Sementara itu, pemanfaatan teori *Dempster–Shafer* dalam pendidikan masih jarang dan umumnya belum diuji menggunakan data empiris sekolah (Nugraheni et al., 2023). Sebagian studi bahkan bergantung pada dataset simulasi dan menghasilkan diagnosis tunggal tanpa mempertimbangkan tingkat keyakinan maupun kemungkinan munculnya multi-diagnosis.

Situasi tersebut menunjukkan kebutuhan akan sistem pakar yang mampu mendukung diagnosis multi-level dan multi-dimensi, mencakup kategori ringan hingga berat, serta memanfaatkan data dari berbagai sumber seperti guru, siswa, dan orang tua. Teori *Dempster–Shafer* merupakan pendekatan yang tepat karena dapat mengintegrasikan bukti multi-sumber dan menghasilkan rentang keyakinan diagnosis yang lebih representatif (El-Din et al., 2024; Liu & Li, 2025; Zhang et al., 2022). Berdasarkan pertimbangan tersebut, penelitian ini mengadopsi teori *Dempster–Shafer* dalam konteks pendidikan Indonesia untuk mengembangkan sistem pakar diagnosis kesulitan belajar yang lebih komprehensif (Palilingan et al., 2025; Putri et al., 2025), adaptif, dan aplikatif bagi pembelajaran inklusif serta pengembangan *AI-based adaptive learning* (Hu, 2024; Tarun et al., 2025).

Tujuan utama penelitian ini adalah merancang sistem pakar berbasis *Dempster–Shafer* yang mampu mengidentifikasi berbagai jenis kesulitan belajar secara simultan dan pada multi-level keparahan. Sistem ini dikembangkan untuk menghasilkan diagnosis yang lebih fleksibel, informatif, dan mendukung penyusunan strategi pembelajaran personal dan adaptif. Melalui validasi pakar dan uji empiris, penelitian ini menunjukkan keunggulan teori *Dempster–Shafer* dibandingkan metode konvensional seperti *Certainty Factor* dan *Fuzzy Logic* dalam konteks pendidikan Indonesia. Implementasi berbasis web memungkinkan diagnosis multi-dimensi yang lebih mencerminkan kondisi nyata di sekolah, sekaligus memperkuat literatur *Educational Data Science* dan *AI-based Adaptive Learning* melalui pendekatan kontekstual yang relevan bagi pembelajaran inklusif.

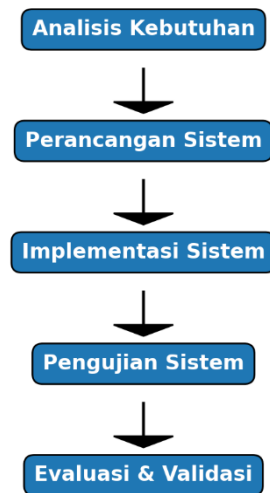
METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Research and Development (R&D)* dengan model pengembangan *Waterfall* sebagai kerangka metodologis karena model ini menawarkan tahapan terstruktur, sistematis, dan sesuai untuk proyek pengembangan perangkat lunak berbasis sistem pakar. Model *Waterfall* yang nampak pada gambar 1 terdiri atas lima tahapan utama, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi hasil. Setiap tahap dilaksanakan secara berurutan dan terkontrol untuk menjamin keterpaduan antara aspek konseptual, teknis, dan empiris dalam pengembangan sistem pakar diagnosis kesulitan belajar berbasis teori *Dempster–Shafer*.

Pada tahap analisis kebutuhan bertujuan mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional sistem melalui studi lapangan dan konsultasi dengan pakar. Data dikumpulkan melalui wawancara terstruktur dengan dua psikolog pendidikan dan tiga guru bimbingan konseling (BK), serta observasi terhadap 50 siswa di MAS Teladan Ujung Kubu yang dipilih menggunakan teknik *purposive sampling*. Informasi yang dihimpun mencakup daftar gejala kesulitan belajar (disleksia, disgrafia, diskalkulia, dan ADHD), karakteristik perilaku siswa, serta rekomendasi intervensi yang relevan. Seluruh data kemudian dikaji berdasarkan teori kesulitan belajar dalam DSM-V dan literatur psikologi pendidikan, sehingga diperoleh kebutuhan sistem yang sesuai dengan konteks empiris sekolah.

Tahapan perancangan meliputi perancangan arsitektur sistem pakar berbasis web, perancangan basis pengetahuan (*knowledge base*), serta algoritma inferensi menggunakan teori *Dempster–Shafer*. Desain sistem dilakukan dengan memodelkan alur kerja diagnosis melalui

flowchart, data flow diagram (DFD), dan entity relationship diagram (ERD). Komponen utama sistem terdiri dari antarmuka pengguna (user interface), modul diagnosis, dan modul admin. Pada tahap ini, setiap gejala dan jenis kesulitan belajar dikonversi ke dalam bentuk kode gejala dan aturan (*rule base*) yang digunakan dalam proses inferensi.



Gambar 1. Alur penelitian berdasarkan model *waterfall*

Tahap implementasi dilakukan dengan membangun sistem berbasis web menggunakan bahasa pemrograman PHP dan basis data MySQL. Proses pengkodean mengikuti hasil perancangan sebelumnya dan mengintegrasikan algoritma Dempster–Shafer untuk mengolah data masukan berupa gejala yang dipilih pengguna. Sistem diimplementasikan dengan antarmuka interaktif yang menampilkan halaman utama, menu diagnosis, basis pengetahuan, serta halaman hasil analisis.

Selanjutnya tahapan pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berfungsi sesuai spesifikasi dan menghasilkan keluaran diagnosis yang valid. Pengujian dilakukan menggunakan metode *black box testing* yang berfokus pada pengujian fungsi utama sistem, seperti login, input gejala, proses diagnosis, pengelolaan data, dan tampilan hasil analisis. Sementara itu tahapan evaluasi tidak dilakukan pada penelitian ini, hanya sampai tahapan pengujian.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Penelitian ini melibatkan 50 siswa MAS Teladan Ujung Kubu dengan berbagai tingkat kesulitan belajar. Berdasarkan hasil observasi dan analisis data, diperoleh 12 siswa (24%) terindikasi disleksia, 10 siswa (20%) diskalkulia, 8 siswa (16%) disgrafia, dan 7 siswa (14%) ADHD, sedangkan 13 siswa (26%) tidak menunjukkan kesulitan belajar signifikan. Gejala dominan yang muncul meliputi kesulitan memahami bacaan pada disleksia, kesalahan perhitungan sederhana pada diskalkulia, tulisan tangan tidak konsisten pada disgrafia, serta kesulitan fokus pada ADHD. Sehingga, temuan ini menunjukkan adanya tumpang tindih antar gejala, sehingga diperlukan metode yang mampu mengolah ketidakpastian data, di mana teori *Dempster-Shafer* terbukti lebih sesuai dibandingkan metode *Certainty Factor*, *Naïve Bayes*, maupun *Fuzzy Logic*.

Masalah yang dibahas dalam penelitian ini adalah mengenai gejala kesulitan dalam belajar. Gejala tersebut berbeda-beda pada setiap orangnya dimana gejala awal untuk penyakit siswa dimuat pada tabel 1. Data ini menjadi data input yang akan dipilih oleh siswa nantinya sebagai gejala awal untuk mendeteksi penyakit kesulitan belajar pada sistem pakar

menggunakan metode *Dempster-Shafer*. Beberapa jenis gejala dalam kesulitan belajar dapat kita lihat pada tabel 1.

Tabel 1 Jenis-jenis gejala dalam kesulitan belajar

Kode Gejala	Nama Gejala
G1	Nilai ujian rendah
G2	Lambat memahami materi
G3	Sulit mengingat pelajaran
G4	Tidak fokus saat belajar
G5	Tidak mengerjakan PR/tugas
G6	Rendahnya motivasi belajar
G7	Membolos atau sering absen
G8	Kesulitan membaca
G9	Kesulitan menulis
G10	Kesulitan berhitung
G11	Sering mengganggu teman
G12	Rasa percaya diri rendah
G13	Tidak aktif berdiskusi
G14	Tidak mampu mengatur waktu belajar
G15	Cepat merasa bosan

Data mengenai penyakit atau gangguan yang dialami siswa dalam proses kesulitan belajar diperoleh secara langsung dari hasil wawancara dengan pakar seperti yang ditunjukkan pada tabel 2. Wawancara ini dilakukan untuk menggali informasi mendalam mengenai jenis-jenis kesulitan belajar yang sering muncul di lingkungan sekolah. Pakar yang diwawancarai memberikan penjelasan terkait gejala-gejala yang dialami siswa serta faktor-faktor penyebab yang memengaruhi. Selain itu, pakar juga memberikan pandangan tentang cara mengidentifikasi dan membedakan setiap jenis kesulitan belajar. Informasi tersebut kemudian dijadikan dasar untuk membangun basis pengetahuan pada sistem pakar yang dikembangkan.

Tabel 2. Data penyakit siswa

Kode Perilaku	Perilaku
P1	Kesulitan Belajar Ringan
P2	Kesulitan Belajar Sedang
P3	Kesulitan Belajar Berat
P4	Kesulitan Membaca (Disleksia)
P5	Kesulitan Menulis (Disgrafia)
P6	Kesulitan Berhitung (Diskalkulia)
P7	Gangguan Konsentrasi (ADHD)
P8	Rendahnya Motivasi Belajar

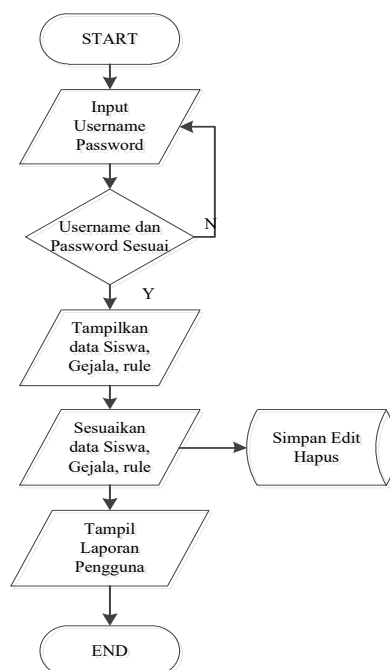
Hasil diagnosis menunjukkan variasi kesulitan belajar pada siswa dengan tingkat kepercayaan yang berbeda. Andri teridentifikasi mengalami rendahnya motivasi belajar (P8) dengan nilai kepercayaan 0,385, yang berarti indikasinya ada tetapi masih moderat. Bagas terdiagnosis gangguan konsentrasi/ADHD (P7) dengan kepercayaan sangat tinggi, yaitu 0,939, sehingga dapat dipastikan ia mengalami masalah fokus yang signifikan. Calline didiagnosis kesulitan belajar sedang (P2) dengan tingkat kepercayaan 0,593, menunjukkan adanya hambatan akademik yang cukup jelas. Doni juga menunjukkan gejala rendahnya motivasi belajar (P8), namun dengan keyakinan 0,963, yang menegaskan bahwa faktor motivasi

merupakan penyebab utama kesulitannya. Berbeda dengan siswa lain, Farel memiliki nilai kepercayaan yang sama (0,444) pada dua kemungkinan sekaligus, yaitu disleksia (P4) dan disgrafia (P5), menandakan adanya tumpang tindih gejala yang membutuhkan asesmen lebih lanjut.

Tabel 3. Hasil diagnosa pada siswa

Alternatif	Gejala yang Diamati	Diagnosis	Nilai Kepercayaan
Andri	G1, G2, G6, G8	P8 – Rendahnya Motivasi Belajar	0,385
Bagas	G4, G7, G11, G14, G15	P7 – Gangguan Konsentrasi (ADHD)	0,939
Calline	G1, G2, G3, G10	P2 – Kesulitan Belajar Sedang	0,593
Doni	G1, G5, G6, G12, G13	P8 – Rendahnya Motivasi Belajar	0,963
Farel	G8, G9	P4 – Disleksia / P5 – Disgrafia	0,444 : 0,444

Hasil perancangan pada halaman utama atau halaman selamat datang merupakan halaman yang pertama tampil ketika pengguna mengakses halaman sistem pakar. Pada bagian utama halaman ini terdapat menu utama seperti *home*, *diagnosa*, *penyakit*, *login*. Bagi yang akan mendiagnosa penyakit dapat langsung mengklik tombol mulai diagnosa yang akan diarahkan langsung ke bagian diagnosa. Sementara itu *Flowchart* admin merupakan alir proses yang menggambarkan proses yang terjadi pada sistem yang digunakan admin, dimana admin bertugas menyesuaikan data siswa, gejala dan *rule* yang ada pada sistem yang digunakan

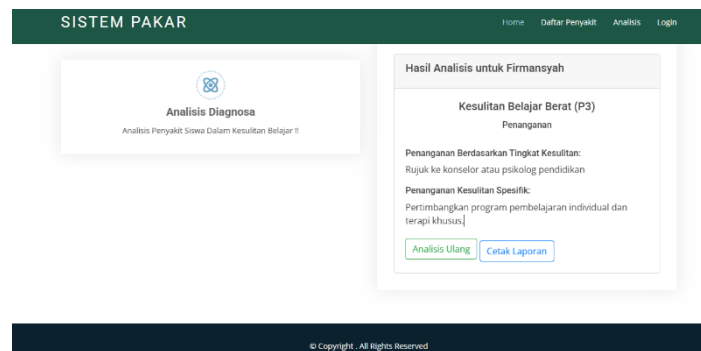


Gambar 4. Flowchart

Halaman hasil digunakan untuk menampilkan hasil dari proses analisis pengguna. Hasil proses analisis menampilkan hasil dengan identitas siswa pada bagian atas, kemudian ditampilkan informasi gejala-gejala yang dipilih sebelumnya pada tahap analisis, dan hasil diagnosa pada bagian bawah dengan menampilkan nama pengguna yang terdeteksi, penjelasan definisi pengguna dan solusi untuk penanganannya penyakit.



Gambar 4. Halaman utama sistem pakar penyakit gejala siswa



Gambar 5. Halaman hasil analisis gejala

Tabel 3. Hasil pengujian *black box*

Fungsi	Pengamatan	Hasil
Pengujian Login	Proses <i>login</i> dengan menggunakan <i>username</i> dan <i>password</i> .	Berhasil
Halaman Hasil Konsultasi	Melihat hasil dari konsultasi.	Berhasil
Halaman data gejala	Membuka halaman data gejala dengan mengklik menu Tabel Data gejala.	Berhasil
Tambah data Gejala	Melakukan penambahan pada <i>form</i> tambah data Gejala (<i>admin</i>)	Berhasil
Ubah data Gejala	Melakukan pengubahan Gejala	Berhasil
Hapus data Gejala	penghapusan data Gejala (<i>admin</i>)	Berhasil
Hapus	Melakukan penghapusan data pengguna (<i>admin</i>)	Berhasil
Logout	<i>Destroyed session Login</i>	Berhasil

Hasil pengujian *black box* pada tabel 3 menunjukkan bahwa seluruh skenario uji berjalan sesuai dengan output yang diharapkan, mulai dari proses login hingga logout. Seluruh alur kerja sistem pakar berfungsi secara konsisten dengan prosedur perhitungan Dempster–Shafer yang telah diimplementasikan, mencakup validasi login, pengolahan input baru, pemrosesan data kriteria, serta penampilan data pengguna. Tidak ditemukan kendala fungsional selama pengujian. Sistem ini terbukti lebih efisien dalam proses pengambilan keputusan, karena alur penilaian dapat dilakukan secara otomatis hanya dengan menambahkan kriteria dan menentukan nilai setiap alternatif hingga menghasilkan perankingan yang sesuai kebutuhan organisasi. Secara keseluruhan, pengujian fungsional melalui pendekatan *black box* memastikan bahwa sistem pakar diagnosis kesulitan belajar bekerja sesuai spesifikasi baik pada sisi pengguna maupun administrator.

Pembahasan

Hasil penelitian mengindikasikan bahwa sistem pakar berbasis teori *Dempster–Shafer* yang dikembangkan mampu melakukan diagnosis berbagai bentuk kesulitan belajar meliputi disleksia, disgrafia, diskalkulia, dan ADHD secara akurat melalui pendekatan multi-level serta kemampuan menangani gejala yang saling tumpang tindih. Pengujian fungsional menggunakan *black box testing* menunjukkan bahwa sistem memiliki reliabilitas tinggi dan siap diterapkan dalam lingkungan pendidikan. Secara teoretis, keunggulan metode *Dempster–Shafer* terletak pada kemampuannya mengintegrasikan bukti dengan tingkat keyakinan yang bervariasi tanpa asumsi independensi gejala, sehingga lebih representatif dibandingkan metode deterministik seperti *Certainty Factor* dan *Fuzzy Logic*. Dengan demikian, pendekatan ini menyediakan kerangka probabilistik yang lebih kuat untuk menangani kompleksitas dan ketidakpastian diagnosis dalam konteks pendidikan.

Temuan penelitian ini selaras sekaligus memperluas hasil studi terdahulu. Penelitian Yactayo-Arias (2024) dan Palilingan et al. (2025) menunjukkan bahwa metode hibrida antara *Dempster–Shafer* dan *Bayesian Networks* dapat meningkatkan akurasi diagnosis hingga 95%. Namun, penelitian ini menegaskan kontribusi kebaruan melalui penerapan murni *Dempster–Shafer* tanpa kombinasi algoritma lain, khususnya dalam konteks pendidikan Indonesia yang memiliki karakteristik empiris berbeda dari penelitian internasional. Selain itu, penelitian ini mengatasi keterbatasan pada penelitian Nugraheni et al. (2023), Fajariyanti et al. (2022), serta Lubis & Irawan (2023) yang hanya menghasilkan diagnosis tunggal tanpa mempertimbangkan kemungkinan multi-diagnosis maupun variasi tingkat keparahan gejala. Dengan demikian, penelitian ini memperluas pemahaman mengenai adaptasi teoritis *Dempster–Shafer* dalam domain pendidikan untuk mengelola ketidakpastian multi sumber dalam proses diagnosis siswa.

Kekuatan utama penelitian terletak pada integrasi data guru, siswa, dan orang tua dalam satu kerangka diagnosis yang komprehensif. Validasi pakar terhadap instrumen gejala meningkatkan validitas isi sistem, sedangkan pengujian *black box* memastikan fungsionalitas berjalan sesuai spesifikasi. Implementasi sistem berbasis web juga memberikan kemudahan akses bagi guru dan konselor dalam melakukan deteksi dini secara cepat, objektif, dan terstandar. Meski demikian, penelitian ini memiliki batasan berupa ukuran sampel yang relatif kecil (50 siswa dari satu sekolah), sehingga generalisasi hasil masih terbatas. Selain itu, *usability testing* berskala besar belum dilakukan, sehingga efektivitas jangka panjang dan pengalaman pengguna belum dapat dipetakan secara menyeluruh.

Temuan penelitian ini memberikan implikasi signifikan bagi pengembangan pendidikan inklusif. Sistem pakar berbasis *Dempster–Shafer* berpotensi menjadi alat bantu yang efektif bagi guru dalam mengidentifikasi kesulitan belajar secara lebih cepat, akurat, dan berbasis data. Informasi mengenai tingkat keyakinan dan kemungkinan diagnosis alternatif memungkinkan perancangan strategi pembelajaran yang lebih personal dan adaptif. Implementasi sistem ini juga selaras dengan arah transformasi pendidikan berbasis kecerdasan buatan (*AI-driven education*), sebagaimana ditunjukkan oleh Yadav dan Shrawankar (2025), yang menekankan pentingnya integrasi analitik cerdas dalam pengembangan pembelajaran yang terpersonalisasi.

Temuan penelitian ini secara ilmiah memberikan kontribusi signifikan pada tiga ranah utama. Pada ranah konseptual, kajian ini memperluas pemanfaatan teori *Dempster–Shafer* dalam konteks pendidikan, yang sebelumnya lebih dominan diterapkan pada bidang medis. Pada ranah metodologis, penelitian ini menghadirkan model pengembangan sistem pakar yang lebih komprehensif melalui integrasi validasi pakar, data empiris sekolah, serta pengujian sistem menggunakan pendekatan *black box testing*. Pada ranah praktis, penelitian ini menghasilkan prototipe berbasis web yang berpotensi terintegrasi dengan sistem *e-learning* adaptif guna mendukung asesmen kesulitan belajar secara digital dan berkelanjutan. Dengan

demikian, penelitian ini memperkaya khazanah literatur *Educational Data Science* sekaligus memperluas cakupan penerapan teori evidensial dalam domain pendidikan.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas cakupan sampel dan mengimplementasikan sistem pada berbagai sekolah dengan karakteristik siswa yang beragam untuk menguji reliabilitas eksternal model. Penelitian lanjutan juga perlu mengombinasikan teori *Dempster-Shafer* dengan algoritma *machine learning* seperti *Bayesian Networks* atau Deep Learning untuk meningkatkan akurasi dan kecepatan diagnosis. Selain itu, studi masa depan dapat memfokuskan pada evaluasi *usability* dan pengalaman pengguna melalui pendekatan *Human Computer Interaction* (HCI), serta mengintegrasikan sistem ini dengan platform *e-learning* adaptif berbasis AI untuk mendukung rekomendasi pembelajaran yang lebih personalisasi. Dengan langkah-langkah ini, sistem pakar berbasis *Dempster-Shafer* memiliki potensi besar untuk menjadi instrumen diagnostik cerdas yang berperan penting dalam mendukung pendidikan inklusif dan berbasis data di masa depan.

SIMPULAN

Penelitian ini mengembangkan sistem pakar berbasis web dengan metode *Dempster-Shafer* yang terbukti efektif mendiagnosis kesulitan belajar siswa secara lebih akurat, adaptif, dan multi-level. Sistem mampu mengelola ketidakpastian serta tumpang tindih data, menghasilkan diagnosis yang lebih realistis dibandingkan metode konvensional seperti *Certainty Factor* dan *Fuzzy Logic*. Penerapan teori ini memperluas penggunaan *evidential reasoning* dalam konteks pendidikan dan berkontribusi pada pengembangan sistem pakar untuk pembelajaran inklusif. Secara praktis, sistem ini membantu guru melakukan deteksi dini kesulitan belajar secara cepat dan objektif, serta berpotensi dikembangkan lebih lanjut melalui integrasi dengan kecerdasan buatan untuk mendukung pembelajaran personalisasi di masa depan.

REFERENSI

- Alizadehsani, R., Roshanzamir, M., Hussain, S., Khosravi, A., Koohestani, A., Zangoeei, M. H., Abdar, M., Beykikhoshk, A., Shoeibi, A., & Zare, A. (2024). Handling of uncertainty in medical data using machine learning and probability theory techniques: A review of 30 years (1991–2020). *Annals of Operations Research*, 339(3), 1077–1118. <https://doi.org/10.1007/s10479-021-04006-2>
- Anggrawan, A., Hairani, H., Satria, C., & Dayani, A. D. (2023). Diagnosing Learning Disorders in Children: A comparison of certainty factor and Dempster-Shafer methods. *International Journal of Information and Education Technology*, 13(9), 1422–1429. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2023.13.9.1945>
- El-Din, D. M., Hassanein, A. E., & Hassanien, E. E. (2024). An adaptive and late multifusion framework in contextual representation based on evidential deep learning and Dempster-Shafer theory. *Knowledge and Information Systems*, 66(11), 6881–6932. <https://doi.org/10.1007/s10115-024-02150-2>
- Fajariyanti, F. M., Agata, D., & Harsono, T. (2022). Expert system for learning disability classification in school-age children. *International Conference on Applied Science and Technology on Social Science 2021 (ICAST-SS 2021)*, 231–237. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.220301.039>
- Hu, A. (2024). Developing an ai-based psychometric system for assessing learning difficulties and adaptive system to overcome: A qualitative and conceptual framework. *ArXiv Preprint ArXiv:2403.06284*.
- Lakshmi, A. J., Kumar, A., Kumar, M. S., Patel, S. I., Naik, S. K. L., & Ramesh, J. V. N. (2023). Artificial intelligence in steering the digital transformation of collaborative technical education. *The Journal of High Technology Management Research*, 34(2),

100467. <https://doi.org/10.1016/j.hitech.2023.100467>
- Liu, Z., & Li, D. (2025). Research of Dempster-Shafer's Theory and Ensemble Classifier Financial Risk Early Warning Model Based on Benford's Law. *Computational Economics*, 65(6), 3361–3389. <https://doi.org/10.1007/s10614-024-10679-1>
- Lubis, R. A., & Irawan, M. D. (2023). Sistem Pakar menggunakan Metode Certainty Factor Mendiagnosa Gizi Buruk Balita berbasis Android. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 7(2), 505–514. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v7i2.24340>
- Muhidin, A., Rilvani, E., & Naya, C. (2025). Model Hybrid Fuzzy Logic dan Deep Learning untuk Prediksi Harga Saham. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 9(2), 531–552. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v9i2.30890>
- Nugraheni, M., Nuraini, R., Tonggiroh, M., & Nurhayati, S. (2023). Expert System for Diagnosing Learning Disorders in Children Using the Dempster-Shafer Theory Approach. *Sinkron: Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 7(4), 2513–2525. <https://doi.org/10.33395/sinkron.v8i4.12960>
- Palilingan, T., Wahyono, T., Kristen, U., Wacana, S., Salatiga, S., Informasi, M. S., Informasi, F. T., & Satya, U. K. (2025). Expert System for Learning Styles Diagnosis Using Dempster – Shafer and Bayesian Network. 11(1), 126–139. <https://doi.org/10.31154/cogito.v11i1.943.126-139>
- Putri, D. R. D., Fahlevi, M. R., Putri, F. A., Indriani, U., Mardiyah, M., & Andreansyah, D. (2025). Mobile-Based Application Implementing the Dempster-Shafer Method for Diagnosing Post-Traumatic Stress Disorder (PTSD). *IJISTECH (International Journal of Information System and Technology)*, 9(1), 115–122.
- Rahmawati, R., Nurwati, N., & Rohminatin, R. (2024). Sistem Pakar Konsultasi Penyakit Diare berbasis Web menggunakan Metode Certainty Factor. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 8(2), 379–388. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v8i2.26703>
- Sairete, A., Balfagih, Z., Brahimi, T., Mousa, M. E. A., Lytras, M., & Visvizi, A. (2021). Artificial intelligence: Towards digital transformation of life, work, and education. In *Procedia Computer Science*, 194, 1–8. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.11.001>
- Sari, D. A. I., Nofriadi, N., & Mardalius, M. (2022). Penerapan Metode Forward Chaining pada Sistem Pakar Pendeteksi Awal Omicron. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 6(2), 224–233. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v6i2.6316>
- Tarun, B., Du, H., Kannan, D., & Gehringer, E. F. (2025). Human-in-the-Loop Systems for Adaptive Learning Using Generative AI. *ArXiv Preprint ArXiv:2508.11062*.
- Yactayo-Arias, C. (2024). Expert system for diagnosing learning disorders in children. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 14(3), 2965–2975. <https://doi.org/10.11591/ijece.v14i3.pp2965-2975>
- Yadav, U., & Shrawankar, U. (2025). Artificial intelligence across industries: A comprehensive review with a focus on education. *AI Applications and Strategies in Teacher Education*, 275–320. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-5443-8.ch010>
- Zhang, Y., Yan, W., Hong, G. S., Fuh, J. F. H., Wang, D., Lin, X., & Ye, D. (2022). Data fusion analysis in the powder-bed fusion AM process monitoring by Dempster-Shafer evidence theory. *Rapid Prototyping Journal*, 28(5), 841–854. <https://doi.org/10.1108/RPJ-10-2020-0242>
- Zolfagharnasab, M. H., Damari, S., Soltani, M., Ng, A., Karbalaiepour, H., Haghdaei, A., Saghayan, M. H., & Matinfar, F. (2025). A novel rule-based expert system for early diagnosis of bipolar and Major Depressive Disorder. *Smart Health*, 35, 100525. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2024.100525>