Didaktik : Jurnal Ilmiah FKIP Universitas Mandiri,
ISSN Cetak : 2477-5673 ISSN Online : 2614-722X
Volume 12 Nomor 04, Desember 2026

PENERAPAN LOGIKA FUZZY DALAM PEMBELAJARAN DAN EVALUASI PENDIDIKAN: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

Aulia Yolanda Ritonga[1], Mutiara Arini Putri[2], Grace Patresya Tambunan[3,] Putra Rodoando Marudut Pardede[4], Nuelsen Leo Metro Sihombing[5], Irwan Sanjaya[6], Elsa Sabrina[7]

Universitas Negeri Medan

[1]auliayolanda133@gmail.com, [2]mutiarataya498@gmail.com,
[3]tambunangrace305@gmail.com, [4]putrapardede768@gmail.com,
[5]nuelsenleosihombing@gmail.com, [6]irwansanjaya292@gmail.com,
[7]elsasabrina@unimed.ac.id

ABSTRACT

Fuzzy logic has been increasingly used in educational systems to represent gradations, ambiguity, and multiple indicators that are difficult to capture through rigid threshold-based assessment. This review synthesizes 20 unique full-text articles supplied for analysis concerning fuzzy logic in learning and educational evaluation. The synthesis addresses research characteristics, learning applications, assessment applications, fuzzy methods, reported benefits and limitations, and research gaps. The reviewed studies cover adaptive e-learning and intelligent tutoring, readiness and performance prediction, competency assessment, online-course quality evaluation, and multi-criteria decision support. Mamdani and Sugeno fuzzy inference systems are prominent in score estimation and performance assessment, while fuzzy Delphi, fuzzy DEMATEL, AHP–fuzzy comprehensive evaluation, and fuzzy clustering are used for validation, factor analysis, and personalization. Reported benefits include interpretable rule-based decisions, integration of heterogeneous indicators, and more nuanced treatment of borderline cases. However, small or institution-specific samples, dependence on expert-defined membership functions and rules, limited external validation, and unclear separation between model effects and instructional interventions constrain the evidence. Fuzzy logic should therefore be understood as a decision-support approach rather than an automatic guarantee of accuracy, fairness, or improved learning. Future research should prioritize multi-site validation, transparent reporting, comparisons with baseline models, fairness analysis, and longitudinal studies connecting model outputs to learning processes and outcomes.

Keywords: fuzzy logic; adaptive learning; educational assessment; fuzzy inference system; systematic literature review

ABSTRAK

Logika *fuzzy* semakin digunakan dalam sistem pendidikan untuk merepresentasikan gradasi, ambiguitas, dan beragam indikator yang sulit ditangkap oleh penilaian berbasis ambang yang kaku. Artikel ini menyintesis 20 artikel teks lengkap unik yang disediakan untuk dianalisis mengenai penerapan logika *fuzzy* dalam pembelajaran dan evaluasi pendidikan. Sintesis membahas karakteristik penelitian, penerapan dalam pembelajaran, penerapan dalam evaluasi, metode *fuzzy*, manfaat dan keterbatasan, serta kesenjangan penelitian. Artikel yang ditelaah mencakup pembelajaran elektronik adaptif dan tutor cerdas, prediksi kesiapan serta kinerja mahasiswa, penilaian kompetensi, evaluasi mutu perkuliahan daring, dan sistem pendukung keputusan multikriteria. Sistem inferensi *fuzzy Mamdani* dan *Sugeno* banyak digunakan untuk estimasi nilai dan penilaian kinerja, sedangkan *fuzzy Delphi*, *fuzzy DEMATEL*, *AHP–fuzzy comprehensive evaluation*, dan *fuzzy clustering* digunakan untuk validasi indikator, analisis faktor, serta personalisasi. Manfaat yang dilaporkan meliputi keputusan berbasis aturan yang dapat ditelusuri, penggabungan indikator heterogen, dan penanganan kasus nilai perbatasan secara lebih bernuansa. Namun, sampel kecil atau terbatas pada satu institusi, ketergantungan pada fungsi keanggotaan dan aturan yang ditentukan ahli, validasi eksternal terbatas, serta belum jelasnya pemisahan efek *model* dari intervensi pembelajaran membatasi kekuatan bukti. Logika *fuzzy* sebaiknya dipahami sebagai pendekatan pendukung keputusan, bukan jaminan otomatis atas akurasi, keadilan, atau peningkatan hasil belajar. Penelitian mendatang perlu memprioritaskan validasi lintas institusi, pelaporan transparan, pembandingan dengan *model* dasar, analisis keadilan, dan studi *longitudinal*.

Kata Kunci: logika *fuzzy*; pembelajaran adaptif; evaluasi pendidikan; sistem inferensi *fuzzy*; tinjauan literatur sistematis

A. Pendahuluan

Penilaian dan pengelolaan pembelajaran merupakan bagian penting dalam pendidikan karena berkaitan dengan penentuan kebutuhan belajar, pemberian umpan balik, pemantauan capaian, dan pengambilan keputusan akademik. Capaian peserta didik tidak selalu dapat direpresentasikan secara memadai melalui satu nilai numerik. Kesiapan belajar, keterlibatan, pemahaman konsep, keterampilan prosedural, sikap, strategi belajar, serta kondisi pembelajaran dapat berinteraksi dan memiliki tingkat kepentingan berbeda. Ketika indikator tersebut diubah menjadi kategori tegas, informasi mengenai kondisi peralihan atau ketidakpastian berisiko hilang.

Logika *fuzzy* menawarkan pendekatan untuk memodelkan derajat keanggotaan suatu kondisi terhadap kategori linguistik, misalnya rendah, sedang, dan tinggi. Berbeda

dari klasifikasi biner, pendekatan ini memungkinkan suatu nilai memiliki derajat keanggotaan pada lebih dari satu kategori. Dalam sistem inferensi *fuzzy*, masukan dipetakan melalui fungsi keanggotaan, diproses menggunakan aturan, lalu digabungkan dan bila dibutuhkan keluaran numerik didefuzzifikasi. Struktur berbasis aturan dapat membantu menjelaskan bagaimana indikator berkontribusi terhadap keputusan, meskipun kualitas hasil tetap bergantung pada pemilihan variabel, fungsi keanggotaan, aturan, bobot, dan *data*.

Dalam pembelajaran, *fuzzy* digunakan untuk mendukung pembelajaran elektronik adaptif dan sistem tutor cerdas. *Model* dapat menggabungkan informasi tentang pengetahuan awal, kinerja, keterlibatan, kesalahan, permintaan bantuan, atau waktu pengerjaan untuk memilih materi maupun strategi bantuan yang sesuai. Penelitian tentang tutor pemrograman *personal*, misalnya, menggunakan beberapa indikator interaksi untuk menentukan strategi *tutoring* (Chrysafiadi & Virvou, 2024).

Pada sisi evaluasi, *fuzzy* digunakan untuk memperkirakan prestasi akademik, menilai kesiapan belajar, menggabungkan indikator kompetensi, dan mengevaluasi kualitas perkuliahan daring. Sejumlah penelitian menerapkan *Mamdani* atau *Sugeno* untuk menghasilkan nilai atau kategori kinerja, sedangkan pendekatan hibrida *AHP–fuzzy comprehensive evaluation* (*FCE*) menggabungkan pembobotan kriteria dengan penilaian multikriteria (Huang, 2023; Tang et al., 2021; Yang, 2025). *Fuzzy Delphi* dan *fuzzy DEMATEL* digunakan untuk memvalidasi indikator atau mengkaji hubungan antarfaktor, sehingga tidak seluruh penelitian yang menggunakan *fuzzy* secara langsung menilai hasil belajar.

Temuan positif dari suatu *model* tidak serta-merta menunjukkan bahwa *model* lebih akurat, adil, atau menyebabkan peningkatan pembelajaran. Perbedaan keluaran *fuzzy* dan nilai konvensional dapat menunjukkan sensitivitas terhadap aturan dan ambang, tetapi belum tentu membuktikan validitas konstruk. Peningkatan nilai pada kelompok yang memperoleh umpan balik berbasis sistem juga dapat dipengaruhi mutu umpan balik atau rancangan pembelajaran, bukan hanya algoritma *fuzzy*. Karena itu, kajian lintas penelitian diperlukan untuk membedakan tujuan *model*, metode, bukti yang tersedia, dan batas interpretasi hasil.

Artikel ini bertujuan menelaah penerapan logika *fuzzy* dalam pembelajaran dan evaluasi pendidikan melalui enam pertanyaan: (1) bagaimana karakteristik penerapannya; (2) bagaimana *fuzzy* mendukung pembelajaran; (3) bagaimana *fuzzy* digunakan dalam evaluasi; (4) metode *fuzzy* apa yang diterapkan; (5) manfaat, keterbatasan, dan tantangan apa yang dilaporkan;

serta (6) kesenjangan dan *agenda* riset apa yang dapat dirumuskan.

B. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) dengan orientasi sintesis tematik untuk mengkaji penerapan logika fuzzy dalam pembelajaran dan evaluasi pendidikan. Bahan kajian terdiri atas 20 artikel yang telah disediakan untuk dianalisis. Artikel-artikel tersebut membahas penggunaan logika fuzzy dalam berbagai konteks pendidikan, meliputi pembelajaran adaptif, sistem tutor cerdas, prediksi kesiapan dan kinerja akademik mahasiswa, penilaian kompetensi, evaluasi kualitas pembelajaran, serta sistem pendukung keputusan di bidang pendidikan. Apabila ditemukan salinan berulang dari artikel yang sama, artikel tersebut dihitung sebagai satu studi agar tidak terjadi penghitungan ganda.

Proses penelaahan dilakukan dengan mengidentifikasi relevansi setiap artikel terhadap fokus penelitian. Artikel yang menjadi bahan sintesis adalah artikel yang membahas penerapan metode fuzzy dalam konteks pendidikan, seperti penyesuaian pembelajaran, pengembangan tutor cerdas, penilaian kesiapan belajar, prediksi kinerja akademik, evaluasi kompetensi, penilaian kualitas pembelajaran, dan validasi faktor dalam pembelajaran elektronik. Pengelompokan artikel dilakukan berdasarkan kesesuaian topik dan kontribusinya terhadap tujuan kajian. Namun, karena dokumentasi pencarian awal dan proses seleksi formal tidak tersedia secara lengkap, jumlah 20 artikel tersebut merujuk pada korpus dokumen unik yang dianalisis, bukan jumlah artikel yang diperoleh melalui pencarian menyeluruh pada basis data ilmiah tertentu.

Data dari setiap artikel diekstraksi berdasarkan beberapa aspek, yaitu nama penulis dan tahun publikasi, konteks pendidikan, tujuan penerapan logika fuzzy, metode atau model yang digunakan, jenis masukan dan keluaran sistem, karakteristik partisipan apabila dilaporkan, temuan utama, serta keterbatasan penelitian. Informasi tersebut kemudian disusun untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, dan pola penerapan logika fuzzy dalam pembelajaran dan evaluasi pendidikan. Analisis juga memperhatikan fungsi masing-masing metode, termasuk sistem inferensi fuzzy Mamdani dan Sugeno, fuzzy Delphi, fuzzy DEMATEL, AHP–fuzzy comprehensive evaluation, serta fuzzy clustering, sesuai dengan tujuan penggunaannya dalam artikel yang ditelaah.

Hasil ekstraksi dianalisis secara deskriptif dan disintesis secara naratif berdasarkan tema-tema utama, yaitu penerapan logika fuzzy dalam pembelajaran adaptif, evaluasi dan prediksi kinerja akademik, evaluasi multikriteria, manfaat penerapan, keterbatasan metode, serta peluang penelitian selanjutnya. Sintesis naratif dipilih karena artikel yang dikaji memiliki tujuan, indikator, karakteristik sampel, rancangan penelitian, dan ukuran evaluasi yang beragam sehingga tidak seluruh hasil dapat dibandingkan secara langsung. Melalui pendekatan ini, kajian diharapkan dapat memberikan gambaran menyeluruh mengenai pemanfaatan logika fuzzy dalam

pendidikan, sekaligus mengidentifikasi keterbatasan bukti empiris dan arah pengembangan penelitian berikutnya.

C.Hasil Penelitian dan Pembahasan

1. Karakteristik Umum Artikel

Korpus menunjukkan bahwa penerapan *fuzzy* dalam pendidikan tidak terkonsentrasi pada satu fungsi. Sebagian penelitian menggunakan *fuzzy* sebagai mekanisme inferensi untuk mengubah sejumlah indikator menjadi kategori atau nilai; sebagian lain menggunakannya untuk menyusun profil dan rekomendasi belajar; sementara kelompok lainnya memakai metode *fuzzy* untuk menilai kriteria atau memvalidasi instrumen. Perbedaan fungsi ini penting karena istilah penerapan *fuzzy* mencakup kegiatan yang berbeda, mulai dari prediksi individu sampai evaluasi mutu program.

Tema	**Fokus dan contoh studi**	**Keluaran umum**
Pembelajaran adaptif/tutor cerdas	Onyianta et al. (2025); Chrysafiadi & Virvou (2024); Purwandari et al. (2026); Szczepański et al.	Rekomendasi, strategi tutoring, materi adaptif
Evaluasi/prediksi akademik	Prayoghi & Basrie (2026); Ergin & Nasibov (2025); Izzati et al. (2025); Lasaraiya & Zenian (2026)	Skor, kategori, prediksi, umpan balik
Kompetensi multidimensi	Leal-Ramírez & Echavarría-Heras (2024); Maraj et al. (2026); Trezenki et al.	Penilaian kompetensi dan capaian
Evaluasi mutu/multikriteria	Huang (2023); Tang et al. (2021); Yang (2025); Chunhua et al. (2023)	Indeks mutu dan evaluasi program
Validasi/analisis faktor	Hasim et al. (2023); Li & Wu (2023); Kurniawan & Utama (2021)	Indikator tervalidasi dan model faktor

Pemetaan ini memperlihatkan bahwa bukti pada korpus memiliki kedekatan yang berbeda terhadap proses belajar. Studi tutor adaptif dapat memengaruhi pengalaman belajar secara langsung; studi prediksi terutama menghasilkan estimasi; sedangkan studi *fuzzy Delphi* atau evaluasi kualitas kursus berkontribusi pada pengembangan instrumen atau keputusan tingkat program. Oleh karena itu, semua artikel tidak dapat disatukan menjadi klaim bahwa *fuzzy* secara langsung meningkatkan hasil belajar.

2. Penerapan dalam Pembelajaran

2.1 Pembelajaran adaptif dan tutor cerdas

Onyianta et al. (2025) membahas *model e-learning* berbasis *fuzzy* tipe-1 untuk memantau keterlibatan dan

kinerja mahasiswa tahun pertama, kemudian menyesuaikan konten pembelajaran. Pendekatan ini mencerminkan bahwa adaptasi tidak harus didasarkan pada satu nilai ujian, tetapi dapat mempertimbangkan beberapa indikator proses belajar.

PerFuSIT oleh Chrysafiadi dan Virvou (2024) menggunakan performa, tipe kesalahan, kemungkinan kecerobohan, permintaan bantuan, dan waktu pengerjaan untuk memilih strategi *tutoring* dalam pemrograman. Artikel melaporkan rata-rata performa 8,51 pada kelompok yang menggunakan PerFuSIT dibandingkan 7,02 pada kelompok pembanding, serta penurunan jumlah interaksi sebesar 15,3%. Temuan ini menjanjikan karena keluaran sistem dihubungkan dengan tindakan *tutoring*. Namun, generalisasi tetap bergantung pada ukuran sampel, rancangan eksperimen, dan konteks tugas pemrograman yang diteliti.

Purwandari et al. (2026) memadukan *fuzzy* dengan personalisasi berdasarkan gaya belajar mahasiswa dan melaporkan hasil post-test serta capaian kelompok eksperimen yang lebih tinggi daripada kelompok kontrol. Kategori gaya belajar dan cara mengukurnya perlu dijelaskan dengan hati-hati: pengelompokan profil tidak dengan sendirinya membuktikan bahwa pencocokan materi merupakan penyebab peningkatan. Penelitian lanjutan perlu memperhitungkan pengetahuan awal, kualitas materi, intensitas interaksi, dan perbedaan pengajar.

Studi AI Tutor oleh Szczepański, Gapiński, dan Marciniak mengilustrasikan penggunaan beberapa pengendali *fuzzy* untuk menyesuaikan akses atau materi pembelajaran pengantar machine *learning* berdasarkan pengetahuan awal, keterampilan, kompetensi, dan keterlibatan. Kelebihan pendekatan multi-pengendali adalah kemungkinan memisahkan fungsi adaptasi. Tantangannya adalah mendokumentasikan bagaimana sinyal digabungkan, bagaimana konflik antarindikator diselesaikan, dan bagaimana rekomendasi diuji pada peserta didik.

2.2 Kesiapan dan dukungan belajar

Prayoghi dan Basrie (2026) menerapkan *model Mamdani* untuk mengklasifikasikan kesiapan belajar mahasiswa dengan masukan motivasi, fokus, dan pemahaman awal. Dari 61 responden, artikel melaporkan 65,57% berada pada kategori kesiapan tinggi dan 34,43% kategori sedang, tanpa responden pada kategori rendah. Hasil ini menunjukkan bagaimana masukan psikopedagogis dapat dipetakan ke kategori yang mudah dibaca. Namun, ketiadaan kategori rendah harus ditafsirkan sebagai hasil *model* pada sampel tersebut, bukan bukti bahwa tidak ada mahasiswa yang membutuhkan dukungan. Validitas bergantung pada instrumen, fungsi keanggotaan, aturan inferensi, dan

kecocokan kategori dengan penilaian eksternal.

Sistem pendukung belajar sebaiknya tidak berhenti pada label seperti "tinggi" atau "sedang". Keluaran *model* akan lebih bermanfaat jika dihubungkan dengan tindakan yang jelas, misalnya penguatan prasyarat, materi pengantar, latihan bertahap, atau konsultasi. Rekomendasi perlu diuji bersama pengajar dan peserta didik agar tidak menyederhanakan kondisi belajar yang kompleks.

3. Penerapan dalam Evaluasi Pendidikan

3.1 Estimasi prestasi dan kinerja akademik

Izzati, Latif, dan Sintiya (2025) menggunakan *model Mamdani* untuk memprediksi capaian akademik berdasarkan kehadiran, tugas, UTS, UAS, dan sikap. Artikel melaporkan MAPE 1,35%. Namun, skor acuan dibentuk dari pembobotan tugas 20%, UTS 20%, UAS 30%, kehadiran 15%, dan sikap 15%. MAPE rendah menunjukkan kedekatan *model* terhadap skor acuan tersebut, tetapi belum membuktikan kemampuan memprediksi capaian belajar independen atau generalisasi ke populasi lain. Validasi pada *data* terpisah dan institusi berbeda diperlukan.

Lasaraiya dan Zenian (2026) menerapkan *Mamdani* pada 49 mahasiswa foundation dengan indikator tugas, UTS, dan UAS serta 12 aturan. Hasil *fuzzy* dan nilai konvensional dilaporkan berbeda terutama pada kasus perbatasan, sedangkan nilai sangat rendah atau tinggi cenderung konsisten. Keputusan yang lebih halus berpotensi bermanfaat, tetapi tidak otomatis lebih benar; aturan perlu dibenarkan secara pedagogis dan diuji terhadap kompetensi yang hendak diukur.

Kurniawan dan Utama (2021) mengembangkan *model* dukungan keputusan menggunakan *Fuzzy Inference Method Sugeno* dengan *data* 100 mahasiswa, menggabungkan faktor akademik dan sosial/keluarga. Pemeringkatan berbeda dari IPK konvensional. Perbedaan tersebut menunjukkan bahwa *model* mengakomodasi faktor tambahan, tetapi tidak cukup untuk menyatakan peringkat *fuzzy* lebih valid atau adil. Jika tujuan adalah capaian akademik formal, penambahan faktor sosial harus disertai justifikasi etis dan validasi.

3.2 Evaluasi kompetensi multidimensi

Leal-Ramírez dan Echavarría-Heras (2024) menggabungkan rancangan instruksi dengan sistem inferensi *fuzzy* dinamis untuk mengevaluasi pemerolehan keterampilan melalui aktivitas belajar pada pendidikan menengah atas di Meksiko. Fokusnya meliputi pengetahuan, prosedur, dan sikap. Kekuatan pendekatan terintegrasi adalah kesesuaian kegiatan instruksional dengan indikator evaluasi. Tantangannya memastikan

definisi kompetensi, rubrik, dan aturan *fuzzy* konsisten dengan tujuan pembelajaran.

Maraj, Peposhi, dan Bendo (2026) menerapkan *Mamdani* untuk evaluasi kinerja pada mata kuliah biomedis dengan 50 mahasiswa dan membandingkannya dengan penilaian klasik. Penelitian menggunakan fungsi keanggotaan segitiga dan basis 10 aturan. Artikel melaporkan MAE 0,34 dan RMSE 0,42, serta menekankan fleksibilitas dan interpretabilitas. Penulis mengakui sampel berasal dari satu institusi dan relatif kecil; hasil *fuzzy* juga mungkin kurang intuitif bagi mahasiswa yang terbiasa dengan nilai konvensional. MAE/RMSE menunjukkan kedekatan numerik terhadap pembanding, bukan ukuran langsung validitas pedagogis atau keadilan.

Trezenki dan kolega menerapkan *Mamdani* untuk menilai aktivitas MBKM pada Program Studi Matematika Universitas Bangka Belitung. Variabel meliputi kerja sama tim, keterampilan dasar, pemecahan masalah, dan inovasi teknologi; fungsi keanggotaan segitiga/trapesium dan centroid digunakan. Contoh skor 83,7 dikategorikan baik. Agar dapat diterapkan lebih luas, definisi operasional variabel dan konsistensi antarpenilai perlu dipaparkan.

3.3 Evaluasi mutu pembelajaran daring

Tang et al. (2021) menggunakan integrasi *FCE–AHP* untuk mengevaluasi kualitas kursus daring selama pandemi, dengan empat indikator tingkat pertama dan 14 indikator tingkat kedua serta kuesioner dari 2.021 responden. Kualitas kursus dilaporkan berada pada kategori dapat diterima, sedangkan aspek mahasiswa dan perangkat keras relatif lebih lemah. Skor agregat perlu dilengkapi distribusi dan pengalaman kelompok berbeda agar masalah spesifik tidak tertutup oleh rata-rata.

Huang (2023) menggunakan *AHP–FCE* untuk mengevaluasi kualitas pengajaran daring berdasarkan 16 titik observasi sebelum, selama, dan setelah kelas di enam universitas berorientasi aplikasi di Henan. Rata-rata keseluruhan 3,756 dari 5 dilaporkan, dengan ruang peningkatan 24,88%. Interpretasi nilai perlu mempertimbangkan validitas indikator, bobot *AHP*, dan batas generalisasi.

Chunhua et al. (2023) menerapkan *fuzzy comprehensive evaluation* untuk menilai pengalaman kelas pada pembelajaran daring. Evaluasi bertingkat membantu menghindari reduksi pengalaman menjadi satu indikator. Namun, persepsi pengalaman, keterlibatan, dan capaian belajar merupakan konstruk yang saling terkait tetapi tidak identik.

Yang (2025) mengembangkan sistem evaluasi komprehensif dan dukungan keputusan untuk pengelolaan pembelajaran daring pendidikan tinggi dengan menggabungkan *AHP* dan *fuzzy*

comprehensive evaluation. Kualitas keputusan bergantung pada pemilihan indikator, bobot, dan keterlibatan pemangku kepentingan. Bobot yang ditetapkan kelompok ahli sempit dapat mencerminkan preferensi kelompok tersebut, bukan keseluruhan pengalaman mahasiswa dan dosen.

3.4 Validasi indikator dan analisis faktor

Hasim et al. (2023) menggunakan *fuzzy Delphi* untuk memvalidasi komponen dan isi terkait anteseden serta perilaku penggunaan *e-learning*. Delapan ahli terlibat dan 45 butir dipertahankan. Kontribusi utamanya berada pada validasi isi, bukan pengukuran langsung peningkatan hasil belajar. Li dan Wu (2023) memadukan *fuzzy Delphi* dan *fuzzy DEMATEL* untuk menganalisis determinan pembelajaran mandiri dan sikap terhadap pembelajaran daring. Kepercayaan diri menggunakan komputer, ponsel pintar, dan internet, pola penggunaan, serta preferensi strategi belajar menjadi faktor penting dalam *model* yang dilaporkan. *Model* keputusan berbasis ahli membantu menyusun prioritas, tetapi hubungan yang dipetakan tidak otomatis setara dengan kausalitas empiris.

Bressane et al. (2022) mengusulkan *model* kecerdasan buatan berbasis *fuzzy* untuk memperkirakan performa dan risiko retensi pada pendidikan teknik, termasuk pada kondisi *data* terbatas. Artikel menggunakan survei daring dan catatan nilai/retensi historis. Strategi belajar yang dilaporkan berhubungan dengan hasil mencakup meninjau pelajaran, membaca bibliografi, menghadiri kelas, dan mengelola emosi. Prediksi risiko perlu disertai perlindungan privasi, pemeriksaan *bias*, dan mekanisme dukungan yang tidak memberi stigma kepada mahasiswa.

4. Perbandingan Metode *Fuzzy*

Metode dalam korpus dapat dikelompokkan berdasarkan tujuan. *Mamdani* dan *Sugeno* merupakan sistem inferensi untuk mengubah indikator menjadi skor atau kategori. *Fuzzy Delphi* membantu konsensus ahli dan validasi indikator; *fuzzy DEMATEL* memetakan pengaruh relatif antarfaktor; *AHP–FCE* menggabungkan pembobotan hierarkis dan evaluasi *fuzzy*; *fuzzy clustering* digunakan untuk mengelompokkan profil sebagai bagian personalisasi. Karena tugasnya berbeda, perbandingan langsung perlu dilakukan pada tujuan, *data*, dan metrik yang setara.

Metode	**Fungsi**	**Kekuatan potensial**	**Keterbatasan**
Mamdani FIS	Skor/kategori kinerja, kesiapan, kompetensi	Aturan linguistik mudah dijelaskan	Aturan dapat membesar; parameter perlu justifikasi
Sugeno FIS	Penilaian dan keputusan berbasis aturan	Keluaran numerik dan integrasi komputasional	Bergantung pada bentuk konsekuen dan aturan
Fuzzy Delphi	Validasi indikator melalui ahli	Merepresentasikan ketidakpastian penilaian ahli	Bukan bukti langsung hasil belajar

Fuzzy DEMATEL	Pemetaan pengaruh faktor	Mengurutkan faktor dan hubungan yang dipersepsikan	Tidak otomatis membuktikan kausalitas
AHP–FCE	Evaluasi mutu multikriteria	Menggabungkan bobot dan penilaian bertingkat	Bobot subjektif; agregat dapat menyembunyikan variasi
Fuzzy clustering	Pengelompokan profil	Keanggotaan profil dapat tumpang tindih	Bergantung fitur dan validasi profil

Tidak ada dasar dalam korpus untuk menyatakan satu metode selalu unggul pada semua konteks. Pilihan metode harus mengikuti tujuan: *Mamdani* dapat sesuai jika keterjelasan aturan menjadi prioritas; *Sugeno* dapat dipertimbangkan untuk keluaran numerik; *fuzzy Delphi* atau *AHP–FCE* relevan untuk validasi isi dan pembobotan. Perbandingan metode sebaiknya menggunakan dataset, indikator, pembagian *data*, dan metrik yang sama.

5. Manfaat dan Nilai Tambah

Pertama, *fuzzy* memungkinkan transisi lebih halus antara kategori. Kondisi di sekitar batas dapat diperlakukan berbeda dari kasus yang sangat jelas, sehingga keputusan tidak hanya bergantung pada satu ambang. Nilai tambah ini bermakna jika fungsi keanggotaan dan aturan sesuai dengan konstruk pendidikan.

Kedua, *fuzzy* memfasilitasi integrasi indikator heterogen. Kesiapan belajar dapat mencakup motivasi, fokus, dan pengetahuan awal; kinerja dapat menggabungkan tugas, ujian, kehadiran, dan perilaku; evaluasi kursus dapat memuat pengalaman, perangkat, desain pembelajaran, dan interaksi. Integrasi hanya bermanfaat jika indikator dipilih dengan dasar teoretis dan tidak memasukkan faktor yang tidak relevan atau diskriminatif.

Ketiga, sistem berbasis aturan memiliki potensi keterjelasan karena aturan linguistik dapat diperiksa pendidik dan didiskusikan dengan mahasiswa. Namun, aturan terlalu banyak, fungsi keanggotaan tidak terdokumentasi, atau bobot tidak transparan dapat membuat sistem tetap sulit dipahami.

Keempat, pada pembelajaran adaptif *fuzzy* dapat menjembatani pengukuran dan tindakan. *Model* dapat mengarahkan materi, tingkat kesulitan, atau strategi bantuan. Manfaat pedagogis harus diuji melalui hasil belajar, retensi, keterlibatan, dan pengalaman peserta didik, bukan hanya akurasi prediksi atau jumlah interaksi.

6. Keterbatasan dan Tantangan

Ketergantungan pada desain ahli. Fungsi keanggotaan, aturan, bobot, dan kategori linguistik sering memerlukan keputusan pakar. Tanpa prosedur yang transparan dan analisis sensitivitas, sistem dapat mengabadikan asumsi yang belum diuji.

Keterbatasan sampel dan generalisasi. Beberapa studi menggunakan puluhan peserta atau

hanya satu institusi, mata kuliah, atau konteks geografis. Metrik prediksi atau peningkatan nilai tidak dapat dianggap berlaku universal tanpa pengujian eksternal.

Ketidakseragaman target dan metrik. Sebagian artikel mengukur kedekatan prediksi terhadap nilai acuan; sebagian mengukur perubahan skor eksperimen; sebagian lain mengukur konsensus ahli atau indeks kualitas. Hasilnya tidak dapat digabungkan menjadi satu ukuran efektivitas *fuzzy*.

Potensi *bias* dan implikasi etis. *Data* sosial, perilaku, perangkat, kehadiran, atau aktivitas daring dapat memengaruhi mahasiswa secara tidak adil jika kondisi akses dan latar belakang tidak diperhitungkan. Prediksi risiko retensi harus ditujukan untuk dukungan, bukan pelabelan.

Integrasi dengan proses belajar. *Model* yang menghasilkan skor tidak otomatis dapat diterapkan di kelas. Pendidik dan mahasiswa membutuhkan penjelasan, akses koreksi *data*, mekanisme banding, dan pengawasan manusia, terutama untuk keputusan berisiko tinggi.

7. Kesenjangan dan *Agenda* Riset

Pertama, validasi lintas institusi dan disiplin perlu diperluas. *Model* yang dirancang untuk pemrograman, biomedis, atau kursus daring perlu diuji pada konteks lain sebelum klaim generalisasi dibuat.

Kedua, penelitian perlu membandingkan *fuzzy* dengan *baseline* yang relevan, seperti rata-rata berbobot, regresi, pohon keputusan, atau metode pembelajaran mesin lain, menggunakan pembagian *data* dan metrik yang sama. Perbedaan dari metode konvensional tidak cukup untuk membuktikan validitas lebih baik.

Ketiga, penelitian eksperimental dan *longitudinal* diperlukan untuk menguji dampak terhadap pembelajaran. Studi perlu membedakan efek algoritma, umpan balik, dan desain pembelajaran, serta melaporkan post-test, retensi jangka panjang, transfer pengetahuan, dan pengalaman mahasiswa secara terpisah.

Keempat, pelaporan *model* harus transparan, termasuk definisi variabel, rentang nilai, parameter fungsi keanggotaan, basis aturan, metode agregasi/defuzzifikasi, pembobotan, penanganan *data* hilang, dan analisis sensitivitas. Kode atau *data* sintetis dapat dibagikan tanpa melanggar privasi.

Kelima, keadilan dan aksesibilitas perlu menjadi bagian evaluasi. Penelitian perlu memeriksa perbedaan kesalahan dan rekomendasi menurut kelompok serta akses perangkat. Variabel sosial harus dibenarkan secara etis.

Keenam, desain human-in-the-loop perlu diteliti. *Model* sebaiknya menyediakan alasan rekomendasi, informasi ketidakpastian, dan ruang bagi guru/dosen untuk meninjau

keputusan. Evaluasi penggunaan nyata perlu mengukur kepercayaan, beban kerja, pemahaman mahasiswa, dan konsekuensi kesalahan *model*.

8. Sintesis Integratif

RQ	Sintesis jawaban	Catatan interpretasi
RQ1	Aplikasi meliputi adaptasi belajar, tutor cerdas, prediksi kinerja, evaluasi kompetensi, mutu kursus, dan validasi faktor.	Tidak semua studi mengukur hasil belajar langsung.
RQ2	Fuzzy memetakan indikator performa/interaksi menjadi rekomendasi materi atau strategi tutoring.	Dampak perlu direplikasi pada konteks berbeda.
RQ3	Fuzzy menghasilkan skor, kategori kesiapan, penilaian kompetensi, prediksi prestasi, dan indeks mutu.	Kedekatan pada skor acuan bukan validitas atau keadilan otomatis.
RQ4	Mamdani/Sugeno untuk inferensi; Delphi/DEMATEL, AHP–FCE, dan clustering untuk tugas lain.	Metode dipilih sesuai tujuan.
RQ5	Manfaat meliputi penanganan gradasi, integrasi indikator, aturan yang dapat ditelusuri, personalisasi.	Tantangan: parameter subjektif, sampel kecil, bias, generalisasi.
RQ6	Prioritas: validasi eksternal, baseline, longitudinal, keterbukaan, keadilan, pengawasan manusia.	Agenda perlu dijadikan kriteria desain dan evaluasi.

Secara keseluruhan, logika *fuzzy* tepat dipahami sebagai kerangka pemodelan dan dukungan keputusan untuk mengorganisasi ketidakpastian serta beragam indikator pendidikan. Ia tidak menggantikan penilaian pedagogis, teori belajar, validasi instrumen, atau tanggung jawab pendidik. Kualitas penerapan ditentukan oleh kesesuaian tujuan, kualitas *data*, transparansi aturan, validasi empiris, dan cara hasil digunakan dalam keputusan nyata.

D. Kesimpulan

SLR ini menelaah 20 artikel unik yang disediakan mengenai penerapan logika *fuzzy* dalam pembelajaran dan evaluasi pendidikan. Hasil sintesis menunjukkan tiga ranah besar, yaitu pembelajaran adaptif dan tutor cerdas; evaluasi serta prediksi kinerja akademik; dan evaluasi multikriteria atau validasi faktor pembelajaran. *Mamdani* dan *Sugeno* muncul dalam sistem inferensi untuk menghasilkan skor atau kategori, sedangkan *fuzzy Delphi*, *fuzzy DEMATEL*, *AHP–FCE*, dan *fuzzy clustering* digunakan untuk validasi indikator, analisis hubungan faktor, evaluasi kualitas, dan personalisasi.

Potensi utama *fuzzy* terletak pada kemampuan merepresentasikan gradasi, menggabungkan indikator yang beragam, dan menyediakan aturan yang relatif dapat ditelusuri. Sejumlah studi melaporkan peningkatan performa, penilaian lebih bernuansa, atau indeks kualitas. Namun, bukti terikat pada konteks dan rancangan tiap studi. Akurasi terhadap skor acuan tidak otomatis menunjukkan validitas pendidikan;

perbedaan dari nilai konvensional tidak otomatis membuktikan keadilan; peningkatan hasil pada sistem adaptif tidak selalu dapat diatribusikan hanya pada logika *fuzzy*.

Keterbatasan meliputi sampel kecil atau satu institusi, ketergantungan pada parameter dan aturan yang dirancang ahli, validasi eksternal terbatas, heterogenitas metrik, dan risiko *bias* ketika *data* sosial atau perilaku digunakan untuk keputusan akademik. Penelitian berikutnya perlu melaksanakan validasi lintas konteks, pembandingan *baseline*, eksperimen *longitudinal*, pelaporan parameter transparan, analisis keadilan, dan pengawasan manusia.

Karena korpus berasal dari dokumen yang disediakan dan dokumentasi pencarian basis *data* tidak tersedia, naskah ini merupakan sintesis terstruktur atas korpus tersebut dan belum dapat diklaim sebagai SLR yang sepenuhnya replikabel menurut protokol pencarian formal. Sebelum diserahkan untuk publikasi, penulis perlu melengkapi strategi pencarian, rentang tanggal, alur seleksi, dan verifikasi bibliografi serta memastikan jumlah artikel final sesuai kriteria inklusi.

DAFTAR PUSTAKA

Bressane, A., et al. (2022). *Fuzzy* artificial intelligence-based *model* proposal to *forecast student performance and retention risk in engineering education*: An alternative *for* handling with *small data*. *Sustainability*, 14, 14071. https://doi.org/10.3390/su142114071

Chrysafiadi, K., & Virvou, M. (2024). PerFuSIT: *Personalized fuzzy logic strategies for intelligent tutoring of programming*. *Electronics*, 13, 4827. https://doi.org/10.3390/*electronics*13234827

Chunhua, & Zhang, (2023). *Fuzzy comprehensive evaluation of students*' classroom experience *in online teaching*. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(21), 79–88. https://doi.org/10.3991/ijet.v18i21.44011

Ergin, & Nasibov, (2025). Analyzing *students*' *academic performance based* on *fuzzy inference system*. *Applied Sciences*, 15, 12755. https://doi.org/10.3390/app152312755

Hasim, et al. (2023). Employing *fuzzy Delphi* techniques to validate the components *and* contents *of e-learning* antecedents *and* usage behavior towards *e-learning performance*. *European Journal of Educational Research*, 12(1), 467–480. https://doi.org/10.12973/eu-jer.12.1.467

Huang, (2023). *Teaching quality evaluation of online courses based* on AHP-FCE *evaluation technology*. *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 18(13), 91–103. https://doi.org/10.3991/ijet.v18i13.40391

Izzati, Latif, & Sintiya, (2025). *Prediction of* higher *education student academic achievement* using *Mamdani fuzzy logic*. JAIIT, 7(1). https://doi.org/10.52435/jaiit.v7i1.682

Kurniawan, & Utama, (2021). *Decision support model* using FIM *Sugeno for* assessing the *academic performance*. *Advances in Science*, *Technology and Engineering Systems Journal*, 6(1), 605–611.

Lasaraiya, (2026). *Students*' *learning performance evaluation* using *fuzzy logic*. *Borneo Science*, 47(1). https://doi.org/10.51200/bsj.v47i1.6353

Leal-Ramírez, C., & Echavarría-Heras, H. (2024). An integrated instruction *and* a dynamic *fuzzy inference system for* evaluating the acquirement *of skills* through *learning activities* by higher middle *education students in* Mexico. *Mathematics*, 12, 1015. https://doi.org/10.3390/math12071015

Li, & Wu, (2023). Determinants *of* learners' self-directed *learning and online learning attitudes in online learning*. *Sustainability*, 15, 9381. https://doi.org/10.3390/su15129381

Maraj, *E*., Peposhi, A., & Bendo, A. (2026). Application *of fuzzy logic for* the *evaluation of student academic performance in* biomedical *subjects*. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, 15(1), 235–243. https://doi.org/10.11591/ijaas.v15.i1.pp235-243

Onyianta, et al. (2025). Advancing a type-1 *rule-based fuzzy logic learning model*. [Nama jurnal, volume, halaman, dan DOI perlu diverifikasi dari PDF].

Prayoghi, & Basrie, (2026). Analisis kesiapan belajar mahasiswa berbasis *fuzzy logic*. *Journal of Social Computer and Religiosity* (*SCORE*), 4(1), 1–7.

Purwandari, et al. (2026). *Personalized learning* with *learning* style using *fuzzy for* university *students performance*. IAES *International Journal of* Artificial Intelligence, 15(3), 2216–2228. https://doi.org/10.11591/ijai.v15.i3.pp2216-2228

Szczepański, Gapiński, & Marciniak, (n.d.). AI tutor: *Adaptive e-learning system* using *expert fuzzy* controllers. [Tahun, venue, volume, halaman, dan DOI perlu diverifikasi dari PDF].

Tang, et al. (2021). *Quality evaluation of online courses* during COVID-19 pandemic *based* on integrated FCE-AHP *method*. *Journal of Intelligent* & *Fuzzy Systems*, 41, 1487–1498. https://doi.org/10.3233/JIFS-210362

Trezenki, et al. (n.d.). Implementation *of Mamdani fuzzy logic in* the *assessment system of* Merdeka Belajar Kampus Merdeka (MBKM) *activities*: Case *study of Mathematics Study* Program at Bangka Belitung University. Jurnal SISFOKOM, 14(3), 381–386. [Tahun dan DOI perlu diverifikasi dari PDF].

Uzunova-Dimitrova, (2025). *Multi-criteria fuzzy inference system for* objective *assessment in* higher *education* institutions.

TEM *Journal*, 14(4), 3470–3479. https://doi.org/10.18421/TEM144-53

Yang, (2025). *Fuzzy comprehensive evaluation system and decision support system for learning management of* higher *education online courses*. *Scientific Reports*, 15, 18113. https://doi.org/10.1038/s41598-025-01782-w