



Department of Digital Business

Journal of Artificial Intelligence and Digital Business (RIGGS)

Homepage: <https://journal.ilmudata.co.id/index.php/RIGGS>

Vol. 5 No. 1 (2026) pp: 1161-1167

P-ISSN: 2963-9298, e-ISSN: 2963-914X

Perbandingan Metode Forward Chaining, Certainty Factor, dan Fuzzy pada Sistem Pakar

Andi Prastomo, Yossi Indrawati Syuhardi, Sri Mardiyati

Teknik Informatika, Universitas Indraprasta PGRI, Jakarta

andi_prastomo@ymail.com, yossiindrawatisyuhardi@gmail.com, srimardiyati05@gmail.com

Abstrak

Sistem pakar merupakan salah satu penerapan kecerdasan buatan yang masih relevan dalam mendukung proses pengambilan keputusan pada berbagai domain seperti kesehatan, pendidikan, industri, dan layanan publik. Keberhasilan sistem pakar sangat dipengaruhi oleh metode inferensi yang digunakan dalam menalar fakta dan menghasilkan kesimpulan. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan tiga metode inferensi yang umum diterapkan pada sistem pakar, yaitu Forward Chaining, Certainty Factor, dan Fuzzy Logic, sehingga dapat diperoleh pemahaman mengenai karakteristik, keunggulan, serta keterbatasan masing-masing metode. Metode penelitian yang digunakan adalah kajian pustaka terstruktur dengan pendekatan Systematic Literature Review (SLR) melalui tahapan pencarian literatur, seleksi artikel berdasarkan kriteria inklusi dan eksklusi (rentang 2016–2025), ekstraksi informasi, serta sintesis temuan. Hasil kajian menunjukkan bahwa Forward Chaining efektif digunakan pada sistem pakar berbasis aturan deterministik karena proses inferensinya transparan dan mudah ditelusuri, namun kurang optimal dalam menangani ketidakpastian. Certainty Factor mampu mengakomodasi ketidakpastian melalui nilai tingkat keyakinan pada kesimpulan, sehingga cocok untuk sistem diagnosis yang gejalanya tidak selalu lengkap, tetapi bergantung pada bobot pakar yang bersifat subjektif. Sementara itu, Fuzzy Logic unggul dalam memodelkan data kontinu dan variabel linguistik yang samar melalui derajat keanggotaan, namun memerlukan desain membership function yang akurat. Penelitian ini menegaskan bahwa tidak terdapat satu metode terbaik untuk seluruh domain, sehingga pemilihan metode inferensi perlu disesuaikan dengan karakteristik data dan kebutuhan output. Selain itu, pengembangan metode hybrid dan peningkatan aspek explainability menjadi arah pengembangan sistem pakar modern.

Kata kunci: Sistem Pakar; Forward Chaining; Certainty Factor; Fuzzy Logic; Metode Inferensi; Systematic Literature Review

1. Latar Belakang

Perkembangan teknologi informasi (TI) dalam satu dekade terakhir mendorong perubahan pola kerja dan pengambilan keputusan pada berbagai sektor, termasuk kesehatan, pendidikan, pertanian, industri, serta layanan publik. Kebutuhan sistem digital yang mampu membantu proses analisis dan penentuan keputusan secara cepat dan konsisten menjadi semakin penting seiring meningkatnya volume data dan kompleksitas masalah. Dalam konteks tersebut, kecerdasan buatan (Artificial Intelligence/AI) berperan sebagai pendekatan strategis untuk menghadirkan sistem yang mampu melakukan penalaran (*reasoning*) dan memberikan rekomendasi berbasis pengetahuan (Giarratano & Riley, 1998; Rothman, 2018)

Salah satu implementasi AI yang masih relevan dan banyak digunakan dalam pengambilan keputusan adalah sistem pakar (*expert system*). Sistem pakar merupakan sistem berbasis pengetahuan yang dirancang untuk meniru kemampuan seorang pakar dalam menyelesaikan masalah spesifik melalui basis aturan (*rule base*), basis pengetahuan (*knowledge base*), serta mekanisme inferensi (*inference engine*). Keunggulan sistem pakar terletak pada kemampuannya memformalisasi pengetahuan pakar agar dapat diakses dan digunakan secara luas tanpa harus selalu melibatkan pakar secara langsung dalam proses konsultasi.

Dalam praktiknya, sistem pakar sangat bermanfaat untuk domain yang memerlukan interpretasi gejala atau kondisi tertentu untuk menghasilkan diagnosis, klasifikasi, atau rekomendasi tindakan. Berbagai implementasi sistem pakar modern banyak ditemui dalam aplikasi diagnosa penyakit, identifikasi kerusakan perangkat, pemilihan jurusan/kompetensi, sistem rekomendasi, serta asesmen risiko. Penelitian terbaru menunjukkan sistem pakar tetap memiliki kontribusi tinggi karena pendekatannya mudah dipahami, transparan, dan dapat diaudit dibanding beberapa metode AI “black-box” ((NurJumala et al., 2022)

Namun demikian, tantangan utama dalam pengembangan sistem pakar adalah pemilihan metode penalaran yang paling sesuai dengan karakteristik masalah. Sistem pakar tidak hanya membutuhkan basis pengetahuan yang baik, tetapi juga memerlukan metode inferensi yang mampu menelusuri aturan dengan tepat, serta mengelola ketidakpastian atau kesamaran (*vagueness*) pada data input. Oleh sebab itu, pemilihan metode inferensi menjadi faktor penentu dalam akurasi dan reliabilitas keputusan sistem pakar (Norvig & Russell, 1995; Ross, 2005)

Tiga metode yang sering digunakan dan menjadi perhatian dalam penelitian sistem pakar adalah Forward Chaining, Certainty Factor (CF), dan Fuzzy Logic. Ketiganya memiliki prinsip yang berbeda dalam membangun keputusan. Forward chaining menekankan proses penalaran berbasis fakta dan aturan secara bertahap menuju kesimpulan; CF menekankan pemberian tingkat keyakinan terhadap hipotesis; sedangkan fuzzy menekankan representasi pengetahuan berbasis variabel linguistik untuk menangani konsep yang samar (Zimmermann, 2011)

Metode Forward Chaining dikenal sebagai metode inferensi data-driven, yakni proses penelusuran dimulai dari fakta awal yang tersedia, kemudian aturan yang sesuai akan dieksekusi hingga menghasilkan kesimpulan. Dalam konteks diagnosa atau troubleshooting, forward chaining sangat efektif ketika input berupa kumpulan fakta/gejala yang jelas dan sistem perlu menemukan output berdasarkan aturan. Berbagai studi implementasi forward chaining masih banyak dilakukan hingga 2024–2025 pada sistem diagnosa kerusakan maupun penyakit, menunjukkan metode ini tetap relevan dan mudah diimplementasikan pada sistem berbasis aturan (Ahmadhiham et al., 2024; Budianto & Pramusinto, 2023)

Kelebihan forward chaining antara lain: transparansi proses inferensi, kemudahan tracing aturan, serta output yang deterministik. Namun, forward chaining memiliki keterbatasan ketika berhadapan dengan domain yang mengandung ketidakpastian tinggi atau gejala yang tidak lengkap. Selain itu, ketika jumlah aturan meningkat, proses pencocokan fakta terhadap aturan dapat menimbulkan kompleksitas komputasi dan berpotensi menghasilkan banyak jalur penalaran yang harus dievaluasi.

Permasalahan ketidakpastian menjadi kondisi umum pada sistem pakar karena pengetahuan pakar sering bersifat tidak absolut. Banyak domain mengandung probabilitas dan keyakinan subjektif, misalnya “kemungkinan besar”, “cukup yakin”, dan “indikasi ringan”. Untuk mengakomodasi hal tersebut, metode Certainty Factor (CF) digunakan untuk merepresentasikan tingkat keyakinan pakar terhadap suatu hipotesis. Dalam implementasi modern, CF banyak digunakan untuk sistem diagnosis dan rekomendasi karena mampu menghasilkan output berupa tingkat kepastian yang lebih informatif dibanding keputusan biner (Pramarta et al., 2021; Rachman & Mukminin, 2018)

Certainty factor menghitung tingkat keyakinan terhadap suatu kesimpulan berdasarkan bobot pakar, bobot gejala/fakta, serta mekanisme penggabungan nilai kepastian. Dengan model ini, sistem dapat memberikan ranking hipotesis berdasarkan tingkat keyakinan tertinggi sehingga membantu pengguna memahami alternatif keputusan. Hal ini terbukti efektif dalam sejumlah studi sistem pakar berbasis CF di berbagai domain, mulai dari diagnosa kesehatan hingga sistem rekomendasi pendidikan dan pengembangan SDM (Setiadi et al., 2021; Sunaryo et al., 2021)

Meski demikian, metode CF tetap memiliki keterbatasan. CF lebih berorientasi pada ketidakpastian probabilistik berbasis keyakinan, namun belum optimal untuk menangani kondisi *vagueness* atau batasan kategori yang tidak tegas. Sebagai contoh, konsep “demam tinggi”, “kerusakan ringan”, atau “tingkat stres sedang” tidak selalu dapat direpresentasikan secara crisp. Oleh sebab itu, diperlukan pendekatan yang mampu mengubah konsep linguistik menjadi representasi matematis agar sistem pakar dapat melakukan inferensi secara lebih fleksibel. Pendekatan yang umum digunakan untuk menangani kesamaran konsep tersebut adalah Fuzzy Logic. Fuzzy memungkinkan sistem melakukan inferensi berdasarkan derajat keanggotaan (*membership degree*), sehingga dapat memodelkan variabel linguistik seperti rendah–sedang–tinggi secara lebih realistis. Implementasi fuzzy pada sistem pakar masih terus berkembang hingga saat ini, termasuk penerapan fuzzy dalam diagnosis maupun deteksi kerusakan dengan tingkat ketidakpastian tinggi (Wahyuningsih et al., 2024)

Beberapa penelitian terbaru menunjukkan fuzzy sering digunakan dalam sistem pakar karena mampu menggabungkan fleksibilitas pengambilan keputusan dan output yang lebih “manusiawi”. Misalnya pada sistem deteksi kerusakan alat medis dan diagnosis berbasis gejala yang bervariasi antar pasien, fuzzy dapat meningkatkan representasi pengetahuan karena input tidak harus berupa kategori absolut (misalnya “ya/tidak”), tetapi dapat berupa tingkat intensitas (Akram & Fitria, 2025).

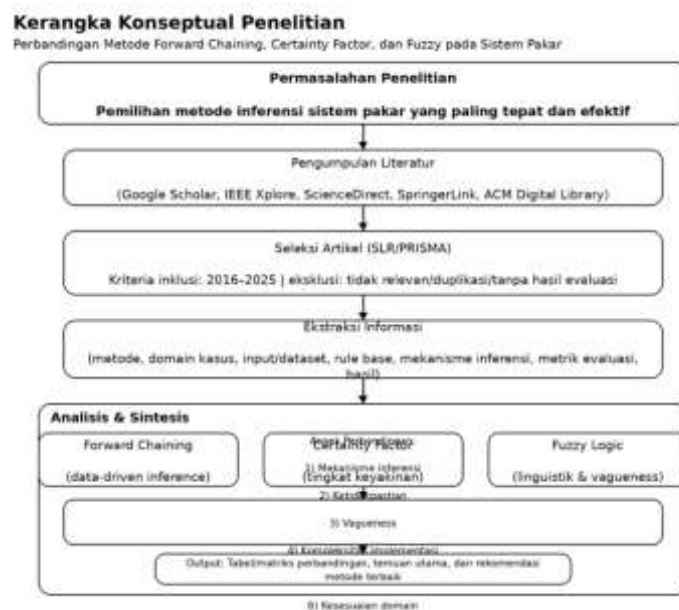
Melihat karakteristik ketiga metode tersebut, penting untuk menilai metode mana yang paling tepat digunakan pada sistem pakar, serta bagaimana perbedaan performa dan relevansinya pada konteks aplikasi yang berbeda. Studi-studi sebelumnya menunjukkan adanya variasi hasil antara forward chaining dan certainty factor pada domain tertentu, sehingga perbandingan metode menjadi penting untuk dijadikan rujukan pengembang sistem.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini berfokus pada perbandingan metode Forward Chaining, Certainty Factor, dan Fuzzy pada sistem pakar, ditinjau dari aspek konsep penalaran, mekanisme inferensi, kemampuan menangani ketidakpastian dan kesamaran, kompleksitas implementasi, serta bentuk output keputusan. Perbandingan ini diharapkan dapat menjelaskan keunggulan serta keterbatasan masing-masing metode untuk membantu peneliti atau pengembang sistem pakar menentukan metode yang paling sesuai. Hasil penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi teoritis dalam memperkaya pemahaman mengenai metode inferensi pada sistem pakar, serta kontribusi praktis berupa rekomendasi pemilihan metode untuk pengembangan sistem pakar yang lebih efektif dan akurat. Dengan adanya perbandingan yang sistematis, penelitian ini juga dapat menjadi dasar untuk penelitian lanjutan seperti integrasi metode hybrid (misalnya forward chaining + CF atau fuzzy + rule-based) sesuai kebutuhan domain aplikasi.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan desain kajian pustaka terstruktur dengan pendekatan *Systematic Literature Review (SLR)* untuk membandingkan penerapan metode *Forward Chaining*, *Certainty Factor (CF)*, dan *Fuzzy Logic* pada sistem pakar. Data penelitian bersumber dari literatur ilmiah berupa artikel jurnal nasional terakreditasi (SINTA), jurnal internasional bereputasi (Scopus/WoS), prosiding ilmiah, serta buku rujukan yang relevan. Proses pencarian artikel dilakukan pada basis data seperti *Google Scholar*, *IEEE Xplore*, *ScienceDirect*, *SpringerLink*, dan *ACM Digital Library*, dengan menggunakan kata kunci antara lain “expert system”, “sistem pakar”, “forward chaining”, “certainty factor”, “fuzzy logic”, serta “comparison”. Artikel yang diperoleh kemudian diseleksi menggunakan kriteria inklusi dan eksklusi, yaitu publikasi rentang 2016–2025, memiliki keterkaitan langsung dengan metode inferensi sistem pakar, serta memuat prosedur dan hasil evaluasi yang jelas. Seleksi dilakukan bertahap melalui identifikasi, penyaringan judul dan abstrak, evaluasi full-text, hingga penentuan artikel final yang dianalisis.

Analisis data dilakukan menggunakan *content analysis* untuk mengidentifikasi domain penerapan, mekanisme inferensi, input data, serta metrik evaluasi yang digunakan dalam setiap penelitian. Selanjutnya dilakukan analisis komparatif untuk membandingkan ketiga metode berdasarkan aspek mekanisme penalaran, kemampuan menangani ketidakpastian dan kesamaran (*vagueness*), kompleksitas implementasi, bentuk output sistem, serta kesesuaian metode terhadap karakteristik permasalahan. Hasil penelitian disajikan dalam bentuk sintesis temuan dan tabel/matriks perbandingan guna menghasilkan rekomendasi metode inferensi yang paling tepat dalam pengembangan sistem pakar sesuai domain kasus (Krippendorff, 2018).



Gambar 1. Kerangka Koseptual Penelitian

3. Hasil dan Diskusi

Gambaran Umum Hasil Kajian Literatur

Hasil kajian literatur menunjukkan bahwa metode Forward Chaining, Certainty Factor, dan Fuzzy Logic masih menjadi pendekatan dominan pada pengembangan sistem pakar hingga beberapa tahun terakhir, terutama dalam domain yang membutuhkan penalaran berbasis aturan (*rule-based reasoning*). Dari artikel-artikel yang dikaji, ketiga metode umumnya diterapkan pada sistem pakar yang bertujuan menghasilkan diagnosis, klasifikasi, atau rekomendasi keputusan.

Berdasarkan karakteristik penerapannya, literatur memperlihatkan pola sebagai berikut:

- Forward Chaining banyak digunakan pada kasus yang memiliki alur aturan logis dan kebutuhan inferensi berbasis fakta awal.
- Certainty Factor (CF) digunakan ketika hasil keputusan sistem pakar perlu disertai tingkat keyakinan, sehingga output tidak kaku (tidak hanya “ya/tidak”).
- Fuzzy Logic digunakan ketika variabel input bersifat kontinu dan samar (*vague*), misalnya rendah–sedang–tinggi.

Dengan demikian, temuan awal menunjukkan bahwa pemilihan metode inferensi sangat dipengaruhi oleh jenis data input, kebutuhan output sistem, dan tingkat ketidakpastian masalah.

Forward Chaining pada Sistem Pakar

Forward chaining merupakan metode inferensi yang bekerja secara *data-driven*, dimulai dari fakta yang dimasukkan user (gejala, kondisi, indikator), lalu sistem mencari aturan yang premisnya sesuai dengan fakta tersebut. Proses berjalan bertahap sampai ditemukan kesimpulan.

Hasil kajian menunjukkan *forward chaining* unggul pada:

- sistem pakar dengan aturan yang jelas,
- domain yang memiliki basis pengetahuan “jika-maka” yang eksplisit,
- kebutuhan proses inferensi yang transparan (mudah ditelusuri).

Namun kelemahannya muncul ketika:

- jumlah rule besar → proses *matching* lebih berat,
- input tidak lengkap → sistem dapat gagal mencapai rule tertentu,
- tidak mampu mengekspresikan ketidakpastian secara langsung.

Certainty Factor (CF) pada Sistem Pakar

Certainty factor dirancang untuk menghadirkan aspek belief (keyakinan) terhadap suatu hipotesis/diagnosis. Dalam penelitian sistem pakar modern, CF sering dipakai pada sistem diagnosa (penyakit, gangguan, kerusakan) karena: Gejala sering tidak muncul lengkap, keyakinan pakar bersifat probabilistik. Hasil kajian menunjukkan metode CF unggul pada: domain yang membutuhkan output berupa ranking atau persentase keyakinan, kasus multi-penyebab (*multi-diagnosis*), sistem yang harus menjelaskan tingkat ketepatan keputusan. Namun, CF memiliki keterbatasan: bergantung pada bobot pakar (*subjektif*), tidak efektif untuk variabel linguistik yang samar (contoh: “cukup tinggi”, “agak rusak”).

Fuzzy Logic pada Sistem Pakar

Fuzzy logic memungkinkan sistem menangani kondisi ambigu dan tidak tegas, dengan konsep derajat keanggotaan (*membership function*). Banyak studi menunjukkan bahwa fuzzy lebih cocok pada sistem pakar yang memproses input kontinyu seperti: suhu, tekanan darah, tingkat risiko, level kinerja, kualitas layanan. Hasil kajian menunjukkan fuzzy unggul karena: mampu mengubah input samar menjadi angka terukur, lebih fleksibel dalam menentukan keputusan, mendekati cara berpikir manusia. Namun fuzzy memiliki tantangan: perlu desain

membership function yang tepat, proses defuzzifikasi dapat mempengaruhi hasil akhir, tidak selalu mudah menjelaskan rule fuzzy kepada user awam.

Hasil Komparasi (Perbandingan Utama)

Tabel 1. Perbandingan *Forward Chaining*, *Certainty Factor*, dan *Fuzzy* pada Sistem Pakar

Aspek	Forward Chaining	Certainty Factor	Fuzzy Logic
Basis penalaran	<i>Data-driven, rule IF-THEN</i>	Rule + nilai keyakinan	<i>Rule fuzzy + membership</i>
Input yang cocok	Fakta tegas (crisp)	Fakta + bobot gejala	Variabel linguistik/kontinu
Output utama	Kesimpulan/diagnosis	Diagnosis + tingkat keyakinan	Nilai hasil defuzzifikasi + kategori
Ketidakpastian	Lemah	Kuat	Kuat (untuk vagueness)
Vagueness (samar)	Lemah	Lemah–Sedang	Sangat kuat
Transparansi proses	Tinggi	Tinggi (dengan nilai CF)	Sedang (tergantung desain fuzzy)
Kompleksitas implementasi	Rendah	Sedang	Sedang–Tinggi
Kebutuhan pakar	Aturan IF–THEN	Aturan + bobot keyakinan	Aturan + membership function
Cocok untuk	klasifikasi sederhana, troubleshooting	diagnosis/penyakit dengan ketidakpastian	evaluasi risiko/kualitas, kondisi samar

Tabel diatas menunjukkan bahwa ketiga metode memiliki area unggul masing-masing. *Forward chaining* unggul pada kejelasan penalaran dan implementasi sederhana. *CF* unggul pada domain yang membutuhkan tingkat keyakinan. *Fuzzy* unggul pada domain yang inputnya bersifat samar dan kontinyu.

Hasil Temuan Pola Penerapan di Berbagai Domain

Berdasarkan sintesis literatur, hasil kajian menunjukkan kecenderungan penggunaan metode sebagai berikut:

1. Domain Diagnosa Kesehatan

Dalam domain kesehatan, input gejala sering tidak lengkap dan mengandung ketidakpastian. Oleh karena itu: *CF* banyak dipilih karena dapat memberi tingkat keyakinan diagnosis, *Fuzzy* dipakai pada kasus yang parameternya berupa angka kontinyu. Metode *CF* membantu sistem menjadi lebih realistis karena dokter/pakar sendiri bekerja dengan keyakinan bertingkat, bukan keputusan deterministik. *Fuzzy* dapat memperhalus keputusan ketika gejala berupa tingkat intensitas (misal: demam 37.5–39°C).

2. Domain Kerusakan Perangkat / Troubleshooting

Pada domain kerusakan perangkat (laptop, mesin, kendaraan), gejala sering lebih jelas (misal: tidak menyala, bunyi abnormal). Maka: *Forward chaining* dominan karena cocok untuk runut logika fakta → kesimpulan. *CF* digunakan jika pakar ingin memberi tingkat keyakinan pada diagnosis.

3. Domain Penilaian Risiko dan Kinerja

Pada domain penilaian risiko, kualitas, evaluasi kinerja: data biasanya berupa rentang kontinyu dan banyak istilah linguistik. maka *fuzzy logic* lebih dominan. *Fuzzy* unggul untuk sistem yang menilai kondisi seperti “cukup baik”, “agak buruk”, “risiko tinggi”, yang tidak bisa dipetakan secara tegas.

Diskusi Kritis: Kelebihan & Keterbatasan Metode

Forward Chaining

Metode *Forward Chaining* memiliki keunggulan utama pada kemudahan penerapan dalam sistem pakar berbasis aturan karena bekerja secara data-driven, yaitu memulai inferensi dari fakta/gejala yang dimasukkan pengguna

hingga memperoleh kesimpulan melalui pencocokan aturan IF–THEN. Kejelasan struktur aturan membuat proses reasoning mudah dilacak (*traceable*) serta memudahkan validasi pengetahuan pakar, sehingga cocok diterapkan pada sistem pakar berbasis konsultasi dan troubleshooting yang membutuhkan transparansi hasil. Sejumlah penelitian terkini juga menunjukkan bahwa forward chaining masih banyak digunakan pada sistem pakar diagnosis atau klasifikasi yang berbasis rule karena sifatnya yang sederhana, mudah diimplementasikan, dan efisien untuk aturan yang tidak terlalu kompleks. Namun demikian, metode forward chaining memiliki kelemahan pada kondisi data yang tidak pasti atau tidak lengkap, karena pendekatan ini cenderung deterministik dan bergantung pada keterpenuhan fakta untuk memicu aturan yang relevan. Selain itu, forward chaining berpotensi mengalami masalah rule explosion apabila basis pengetahuan terus berkembang dan jumlah aturan menjadi sangat besar, sehingga proses pencocokan aturan dapat menurunkan efisiensi sistem dan memperumit pengelolaan pengetahuan

Certainty Factor

Metode *Certainty Factor* (CF) unggul dalam menangani ketidakpastian pada sistem pakar, khususnya pada domain diagnosis yang gejalanya tidak selalu muncul secara lengkap dan pengetahuan pakar bersifat “derajat keyakinan”. CF memungkinkan sistem menghasilkan kesimpulan yang lebih informatif karena output tidak hanya berupa keputusan akhir, tetapi disertai ukuran tingkat keyakinan (*certainty value*) yang membantu pengguna memahami seberapa kuat suatu hipotesis didukung oleh gejala yang dipilih. Dalam beberapa penelitian terbaru, CF terbukti relevan untuk sistem pakar diagnosis (misalnya kesehatan), karena mampu merepresentasikan penalaran pakar yang probabilistik dan memberikan hasil berupa persentase/level keyakinan yang dapat ditindaklanjuti. Kendati demikian, kelemahan utama CF terletak pada ketergantungannya terhadap bobot keyakinan yang diberikan pakar, sehingga bersifat subjektif dan dapat berbeda antar pakar atau antar penelitian. Selain itu, pada sistem dengan banyak aturan yang saling tumpang tindih atau beririsan, proses kombinasi nilai CF dapat menjadi lebih kompleks dan berpotensi menghasilkan bias apabila struktur aturan tidak dikelola dengan baik. Keterbatasan ini mendorong sejumlah penelitian mengombinasikan forward chaining dengan CF sebagai bentuk metode hybrid untuk meningkatkan ketepatan dan stabilitas keputusan.

Fuzzy Logic

Metode Fuzzy Logic memiliki kekuatan pada kemampuan memodelkan variabel yang bersifat samar (*vagueness*) dan data kontinyu, sehingga sangat sesuai untuk permasalahan yang mengandung istilah linguistik seperti rendah–sedang–tinggi, ringan–sedang–berat, atau aman–waspada–bahaya. Dengan memanfaatkan derajat keanggotaan (membership function), fuzzy mampu mengubah input yang tidak tegas menjadi nilai numerik yang dapat diproses sehingga hasil keputusan menjadi lebih fleksibel dan mendekati pola penalaran manusia. Sejumlah studi terbaru menunjukkan penerapan fuzzy pada sistem pakar banyak digunakan karena mampu memberikan output yang lebih adaptif dalam domain evaluasi risiko, klasifikasi tingkat kondisi, serta kasus-kasus yang kriterianya tidak memiliki batas tegas. Namun demikian, fuzzy logic juga memiliki keterbatasan karena sangat bergantung pada ketepatan desain membership function dan aturan fuzzy. Jika membership function tidak dirancang dengan baik, maka inferensi dapat menghasilkan keputusan yang tidak stabil dan sulit direplikasi pada domain lain. Literatur juga menekankan bahwa pemilihan bentuk membership function serta proses tuning sangat mempengaruhi kualitas output. Selain itu, fuzzy cenderung kurang optimal untuk masalah deterministik yang memiliki aturan tegas dan tidak memerlukan toleransi linguistik, karena dapat meningkatkan kompleksitas tanpa memberikan peningkatan hasil yang signifikan.

Tabel 2. Rekomendasi Metode Berdasarkan Karakteristik Masalah

Karakteristik Permasalahan	Metode yang Disarankan
Data gejala tegas, aturan jelas	Forward Chaining
Perlu tingkat keyakinan diagnosis	Certainty Factor
Variabel input samar/kontinyu	Fuzzy Logic
Domain diagnosis medis multi gejala	CF atau CF+Forward Chaining
Domain evaluasi risiko/kualitas	Fuzzy atau Fuzzy + Rule Based

Implikasi Penelitian

Hasil kajian menunjukkan bahwa pengembangan sistem pakar tidak dapat mengandalkan satu metode inferensi untuk seluruh domain permasalahan (*no single best method*), karena *Forward Chaining*, *Certainty Factor*, dan *Fuzzy Logic* memiliki karakteristik serta spesialisasi yang berbeda dalam menangani jenis data dan kondisi problem yang beragam. Oleh karena itu, penelitian ini memberikan implikasi bahwa arah pengembangan sistem pakar modern sebaiknya dilakukan dengan mempertimbangkan pemilihan metode inferensi berdasarkan karakteristik data dan kebutuhan output, misalnya penggunaan *forward chaining* untuk aturan deterministik, *certainty factor* untuk ketidakpastian berbasis keyakinan, serta *fuzzy logic* untuk menangani variabel linguistik dan data kontinyu yang bersifat samar. Selain itu, temuan penelitian juga mengindikasikan pentingnya pengembangan metode hybrid, seperti kombinasi *Forward Chaining* dengan *Certainty Factor* (FC+CF) atau integrasi Fuzzy dengan *Rule-Based System*, untuk menghasilkan sistem yang lebih adaptif terhadap berbagai jenis input dan meningkatkan kualitas keputusan. Lebih lanjut, penelitian ini menegaskan bahwa peningkatan aspek transparansi dan penjelasan keputusan (*explainable expert system*) merupakan komponen penting dalam pengembangan sistem pakar, karena kemampuan sistem dalam menjelaskan proses inferensi dan alasan pengambilan keputusan akan berpengaruh terhadap kepercayaan dan penerimaan pengguna dalam implementasi nyata.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil kajian literatur dan analisis komparatif, dapat disimpulkan bahwa metode *Forward Chaining*, *Certainty Factor*, dan *Fuzzy Logic* merupakan pendekatan inferensi yang masih relevan serta banyak digunakan dalam pengembangan sistem pakar, namun masing-masing memiliki karakteristik dan keunggulan yang berbeda. *Forward Chaining* lebih efektif digunakan pada permasalahan yang memiliki aturan tegas dan input berupa fakta yang jelas karena mekanismenya bersifat data-driven dan transparan sehingga mudah ditelusuri. *Certainty Factor* lebih sesuai diterapkan pada domain yang mengandung ketidakpastian, khususnya pada sistem diagnosis, karena mampu menghasilkan kesimpulan beserta tingkat keyakinan yang lebih informatif dibanding keputusan biner. Sementara itu, *Fuzzy Logic* paling tepat digunakan pada permasalahan yang melibatkan data kontinyu dan konsep linguistik yang samar karena mampu merepresentasikan derajat keanggotaan untuk mendukung keputusan yang lebih fleksibel dan mendekati penalaran manusia. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan bahwa tidak terdapat satu metode terbaik untuk seluruh domain (*no single best method*), sehingga pemilihan metode inferensi perlu disesuaikan dengan karakteristik data, kebutuhan output, dan konteks aplikasi. Selain itu, pengembangan sistem pakar ke depan berpotensi ditingkatkan melalui integrasi pendekatan hybrid (misalnya FC+CF atau Fuzzy+Rule-Based) serta penguatan aspek *explainability* agar sistem pakar lebih dapat dipercaya, mudah dipahami, dan efektif dalam mendukung pengambilan keputusan.

Referensi

1. Ahmadiham, A. A., Leluni, E. R. D., Priskila, R., & Pranatawijaya, V. H. (2024). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Telinga Berbasis Web Menggunakan *Forward Chaining*. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(3), 3448–3453.
2. Akram, R., & Fitriah, D. (2025). Penerapan *Fuzzy Logic* Dan *Case-Based Reasoning* Pada Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Gizi Balita di Puskesmas Banyak Payed. *Jurnal Ilmiah ILKOMINFO-Ilmu Komputer & Informatika*, 8(1), 99–112.
3. Budianto, A., & Pramusinto, W. (2023). Implementasi Sistem Pakar Dengan Metode *Forward Chaining* Untuk Menganalisa Kerusakan Komputer Pada Media Indonesia. *Jurnal TICOM: Technology of Information and Communication*, 11(2), 103–107.
4. Giarratano, J. C., & Riley, G. (1998). *Expert Systems*. PWS Publishing Co.
5. Krippendorff, K. (2018). *Content analysis: An introduction to its methodology*. Sage publications.
6. Norvig, P., & Russell, S. J. (1995). *Artificial intelligence a modern approach*. Prentice hall.
7. NurJumala, A., Prasetyo, N. A., & Utomo, H. W. (2022). Sistem Pakar Diagnosis Penyakit Rhinitis Menggunakan Metode *Forward Chaining* Berbasis Web. *JURIKOM (Jurnal Riset Komputer)*, 9(1), 69–78.
8. Pramarta, P., Irawati, D. R., & Mardiyati, S. (2021). Aplikasi sistem pakar diagnosa penyakit gigi dan mulut berbasis website. *Journal of Information System, Applied, Management, Accounting and Research*, 5(4), 1054–1065.
9. Rachman, R., & Mukminin, A. (2018). Penerapan metode *certainty factor* pada sistem pakar penentuan minat dan bakat siswa SD. *Khazanah Informatika: Jurnal Ilmu Komputer Dan Informatika*, 4(2), 90–97.
10. Ross, T. J. (2005). *Fuzzy logic with engineering applications*. John Wiley & Sons.
11. Rothman, D. (2018). *Artificial Intelligence by example* (Vol. 480). Packt Publishing Birmingham.
12. Setiadi, D., Syaputra, A., & Susanti, T. (2021). Penerapan Metode *Certainty Factor* Pada Sistem Pakar Untuk Mendiagnosa Penyakit Vertigo. *Jusikom: Jurnal Sistem Komputer Musirawas*, 6(2), 105–114.
13. Sunaryo, N., Yuhandri, Y., & Sumijan, S. (2021). Sistem Pakar Menggunakan Metode *Certainty Factor* dalam Identifikasi Pengembangan Minat dan Bakat Khusus pada Siswa. *Jurnal Sistim Informasi Dan Teknologi*, 48–55.
14. Wahyuningsih, A. S., Krisnayadi, Y., & Muzakki, A. A. (2024). IMPLEMENTASI FUZZY LOGIC DALAM SISTEM PAKAR UNTUK MENGETAHUI TINGKAT KEPUASAN KONSUMEN PADA PT. NUSANTARA EKSPRES KILAT (SPX EXPRESS) HUB. KARANG BAHAGIA. *Jurnal Informatika SIMANTIK*, 9(2), 37–41.
15. Zimmermann, H.-J. (2011). *Fuzzy set theory—and its applications*. Springer Science & Business Media.