



Strategi Penanganan Ketidakpastian dalam Sistem Pakar dan Decision Support System: Integrasi Pendekatan Kualitatif dan Probabilistik

Lalita Chandiany Adiputri^{1*}, Rachmat Selamat²

Sekolah Tinggi Manajemen Informatika & Komputer LIKMI, Indonesia

Email: lalitachandiany27@gmail.com*

KEYWORD	ABSTRACT
uncertainty, expert systems, decision support system, bayesian, qualitative confidence levels	Uncertainty constitutes a fundamental challenge in Expert Systems and Decision Support Systems (DSS) that affects decision-making accuracy. This research aims to analyze various uncertainty handling approaches through qualitative descriptive, comparative, and analytical literature study. The study focuses on four main approaches: Qualitative Confidence Levels (QCL) representing beliefs in linguistic forms, Bayesian probabilistic reasoning updating probabilities based on new evidence, Data Marks as quality indicators for information in knowledge bases, and multi-criteria uncertainty weighting in multi-criteria decision-making. The analysis reveals that each approach has specific strengths and limitations. QCL provides linguistic flexibility but is vulnerable to subjectivity, Bayesian offers strong mathematical structures but requires accurate prior data, Data Marks enhances transparency while still requiring subjective interpretation, whereas MCDA weight uncertainty is robust in multi-criteria conditions despite computational complexity. The key finding emphasizes that uncertainty cannot be effectively managed with a single method. Integration of qualitative, probabilistic, and structural approaches proves more adaptive to real-world complexity. This research contributes theoretically by providing an integrative framework for developing more robust, transparent, and adaptive intelligent systems in handling various dimensions of uncertainty from data, expert knowledge, model structure, to decision preference weights.
ketidakpastian, sistem pakar, decision support system, bayesian, qualitative confidence levels	Ketidakpastian merupakan tantangan fundamental dalam Sistem Pakar dan Decision Support System (DSS) yang memengaruhi akurasi pengambilan keputusan. Penelitian ini bertujuan menganalisis berbagai pendekatan penanganan ketidakpastian melalui studi literatur kualitatif deskriptif, komparatif, dan analitis. Kajian difokuskan pada empat pendekatan utama: Qualitative Confidence Levels (QCL) yang merepresentasikan keyakinan dalam bentuk linguistik, Bayesian probabilistic reasoning yang memperbarui probabilitas berdasarkan bukti baru, Data Marks sebagai penanda kualitas informasi dalam basis pengetahuan, dan multi-criteria uncertainty weighting dalam pengambilan keputusan multikriteria. Hasil analisis menunjukkan bahwa setiap pendekatan memiliki kekuatan dan keterbatasan spesifik. QCL memberikan fleksibilitas linguistik namun rentan subjektivitas, Bayesian menawarkan struktur matematis kuat tetapi memerlukan data prior akurat, Data Marks meningkatkan transparansi namun tetap membutuhkan interpretasi subjektif, sedangkan MCDA weight uncertainty robust dalam kondisi multikriteria meskipun kompleks secara komputasi. Temuan kunci penelitian ini menegaskan bahwa ketidakpastian tidak dapat dikelola efektif dengan metode tunggal. Integrasi pendekatan kualitatif, probabilistik, dan struktural terbukti lebih adaptif terhadap kompleksitas dunia nyata. Penelitian ini memberikan kontribusi teoretis berupa kerangka integratif untuk pengembangan sistem cerdas yang lebih robust, transparan, dan adaptif dalam menangani berbagai dimensi ketidakpastian dari data, pengetahuan pakar, struktur model, hingga bobot preferensi keputusan.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah memasuki fase kritis di mana kecerdasan buatan dan analitik data menjadi komponen utama dalam mendukung proses pengambilan keputusan yang kompleks. Sistem Pakar (Expert System) dan Decision Support System (DSS) kini menjadi teknologi strategis dalam berbagai sektor, mulai dari kesehatan, keuangan, pertanian, manufaktur, hingga keamanan siber. Meskipun dirancang untuk meniru cara pikir manusia dalam memecahkan masalah, kedua sistem ini tidak pernah lepas dari tantangan fundamental berupa ketidakpastian (uncertainty) (Sulartopo et al., 2023). Ketidakpastian tidak hanya menjadi bagian dari proses teknis, namun telah menjadi faktor epistemologis yang menentukan keabsahan dan keandalan keputusan yang dihasilkan (Hannum et al., 2025; Hidayat et al., 2024; Wijiaty et al., 2025). Ketidakpastian muncul karena dunia nyata bersifat dinamis dan tidak sepenuhnya dapat direpresentasikan oleh model atau data terstruktur (Murtopo et al., 2025; Syaharuddin, 2024). Data yang tersedia sering kali tidak lengkap, bias, terdistorsi oleh noise, atau dipengaruhi oleh konteks temporal yang cepat berubah (Khakim & Honbolygó, 2022).

Pengetahuan pakar pun tidak lepas dari subjektivitas, sebab setiap pakar memiliki pengalaman, intuisi, dan interpretasi berbeda terhadap suatu fenomena (Irwan et al., 2021; Karimaliana et al., 2023). Selain itu, model analisis dalam DSS terkadang melakukan simplifikasi berlebihan untuk meningkatkan efisiensi komputasi, tetapi pada saat yang sama mengabaikan variabel-variabel signifikan yang memengaruhi hasil keputusan. Ketidakpastian juga semakin meningkat seiring bertambahnya kompleksitas sistem informasi modern. Dalam lingkungan bisnis digital, keputusan harus dibuat berdasarkan volume data yang sangat besar (big data), kecepatan real-time, dan variasi data yang sangat tinggi, termasuk data numerik, teks, sinyal sensor, hingga opini pengguna. Fenomena ini menuntut sistem pakar dan DSS untuk tidak hanya mampu memproses data secara cepat, tetapi juga mampu memahami ketidakpastian yang terkandung dalam setiap sumber informasi. Selain itu, perkembangan teknologi seperti Internet of Things (IoT), cloud computing, dan edge computing memperkenalkan tingkat variabilitas baru terhadap data (Erikasari et al., 2025).

Perangkat IoT, misalnya, sering menghasilkan data dalam jumlah besar namun dengan kualitas yang bervariasi, dipengaruhi oleh gangguan jaringan, keterbatasan perangkat, serta lingkungan operasional yang berubah-ubah (Ayunita & Asbari, 2025; Febriansyah & Dwicahya, 2024). Pada konteks keamanan siber, ketidakpastian juga muncul dari pola serangan baru yang sulit diprediksi sehingga sistem pakar dan DSS harus mampu menghadapi ancaman yang sifatnya dinamis (Więckowski et al., 2024). Di sisi lain, organisasi modern saat ini lebih mengandalkan sistem cerdas untuk melakukan prediksi dan rekomendasi strategis.

Pengambilan keputusan yang buruk akibat ketidakpastian yang tidak terkelola dapat menghasilkan konsekuensi serius seperti kegagalan diagnosis medis, kerugian finansial, kesalahan perencanaan produksi, hingga kesalahan analisis risiko. Dengan demikian, kemampuan sistem dalam memodelkan, mengukur, dan merespons ketidakpastian bukan hanya meningkatkan performa teknis, tetapi juga mengurangi risiko operasional dan strategis (Hartanto, 2021; Jannah

et al., 2023). Sejalan dengan tantangan tersebut, berbagai pendekatan telah dikembangkan dalam literatur untuk mengelola ketidakpastian secara sistematis.

Pendekatan pertama menggunakan qualitative confidence levels yang memungkinkan pengetahuan dinyatakan dalam bentuk linguistik, sehingga lebih mendekati cara manusia mengungkapkan keyakinan (Mahesar et al., 2017).

Pendekatan kedua menggunakan Bayesian probabilistic reasoning yang mengkonseptualisasikan ketidakpastian sebagai probabilitas yang dapat diperbarui berdasarkan bukti baru (Ogheneovo & Nlerum, 2020).

Pendekatan ketiga menghadirkan Data Marks, yaitu metode modern untuk memberikan penanda kualitas terhadap setiap fakta atau aturan dalam basis pengetahuan, sehingga sistem dapat membedakan tingkat keandalan informasi (Niederlinski, 2018).

Pendekatan keempat menekankan multi-criteria uncertainty weighting yang memungkinkan pembobotan kriteria dalam DSS dilakukan secara fleksibel dengan mempertimbangkan ketidakpastian input (Więckowski et al., 2024). Selain itu, literatur klasik seperti karya Turban mengenai arsitektur DSS memperkuat pemahaman bahwa integrasi model, data, dan pengetahuan sangat menentukan kualitas pengambilan keputusan. Russell & Norvig menegaskan bahwa kecerdasan buatan tidak dapat dilepaskan dari mekanisme penalaran probabilistik dan inferensi berbasis ketidakpastian. Zadeh melalui teori fuzzy memberikan fondasi bagi representasi linguistik ketidakpastian, sementara Shafer memberikan dasar penggabungan bukti dari berbagai sumber melalui evidential reasoning. Dalam konteks ini, pengelolaan ketidakpastian tidak hanya penting untuk meningkatkan keakuratan output sistem, tetapi juga meningkatkan transparansi, interpretabilitas, dan reliabilitas keputusan. Oleh karena itu, kajian ini menjadi penting untuk menggali bagaimana pendekatan modern dan klasik dapat dikombinasikan guna menciptakan kerangka penanganan ketidakpastian yang lebih komprehensif dan adaptif.

Sejalan dengan tantangan tersebut, berbagai pendekatan telah dikembangkan dalam literatur untuk mengelola ketidakpastian secara sistematis. Pendekatan pertama menggunakan qualitative confidence levels yang memungkinkan pengetahuan dinyatakan dalam bentuk linguistik, sehingga lebih mendekati cara manusia mengungkapkan keyakinan (Mahesar et al., 2017). Pendekatan kedua menggunakan Bayesian probabilistic reasoning yang mengkonseptualisasikan ketidakpastian sebagai probabilitas yang dapat diperbarui berdasarkan bukti baru (Ogheneovo & Nlerum, 2020). Pendekatan ketiga menghadirkan Data Marks, yaitu metode modern untuk memberikan penanda kualitas terhadap setiap fakta atau aturan dalam basis pengetahuan, sehingga sistem dapat membedakan tingkat keandalan informasi (Niederlinski, 2018). Pendekatan keempat menekankan multi-criteria uncertainty weighting yang memungkinkan pembobotan kriteria dalam DSS dilakukan secara fleksibel dengan mempertimbangkan ketidakpastian input (Więckowski et al., 2024). Selanjutnya, literatur klasik seperti karya Turban mengenai arsitektur DSS memperkuat pemahaman bahwa integrasi model, data, dan pengetahuan sangat menentukan kualitas pengambilan keputusan. Russell & Norvig menegaskan bahwa kecerdasan buatan tidak dapat dilepaskan dari mekanisme penalaran probabilistik dan inferensi berbasis ketidakpastian.

Zadeh melalui teori fuzzy memberikan fondasi bagi representasi linguistik ketidakpastian, sementara Shafer memberikan dasar penggabungan bukti dari berbagai sumber melalui evidential reasoning (Shafer, 1976; Zadeh, 1965). Dalam konteks ini, pengelolaan ketidakpastian tidak hanya penting untuk meningkatkan keakuratan output sistem, tetapi juga meningkatkan transparansi, interpretabilitas, dan reliabilitas keputusan. Oleh karena itu, kajian ini menjadi penting untuk menggali bagaimana pendekatan modern dan klasik dapat dikombinasikan guna menciptakan kerangka penanganan ketidakpastian yang lebih komprehensif dan adaptif.

Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, penelitian ini difokuskan untuk menjawab permasalahan-permasalahan berikut:

1. Bagaimana bentuk ketidakpastian muncul dalam Sistem Pakar dan Decision Support System (DSS) serta bagaimana mekanismenya memengaruhi akurasi pengambilan keputusan?
2. Apa saja pendekatan dan metode yang dapat digunakan untuk menangani ketidakpastian dalam Sistem Pakar dan DSS?
3. Bagaimana efektivitas penerapan metode-metode penanganan ketidakpastian tersebut berdasarkan kajian teori dan literatur?

1.3 Tujuan Penulisan

1.3.1 Tujuan Umum

Menyajikan analisis mendalam mengenai keterbatasan dan potensi berbagai pendekatan dalam mengelola ketidakpastian pada Sistem Pakar dan DSS, serta memberikan landasan teoretis bagi pengembangan sistem cerdas yang lebih robust.

1.3.2 Tujuan Khusus

1. Menjelaskan bentuk dan sumber ketidakpastian dalam Sistem Pakar dan DSS.
2. Menguraikan pendekatan dan metode utama yang digunakan untuk menangani ketidakpastian.
3. Mengevaluasi efektivitas metode-metode tersebut berdasarkan kajian teori dan literatur

METODE

Penulisan makalah ini menggunakan metode studi literatur dengan pendekatan kualitatif deskriptif, komparatif, dan analitis. Pendekatan ini dipilih karena mampu memberikan gambaran komprehensif mengenai ragam konsep ketidakpastian, variasi metode penanganannya, serta relevansi penerapannya dalam Sistem Pakar dan Decision Support System (DSS). Studi literatur memungkinkan penulis untuk menggabungkan temuan-temuan dari berbagai penelitian serta literatur akademik sehingga menghasilkan analisis teoretis yang mendalam dan menyeluruh.

Metode ini berfokus pada penelusuran, pemilihan, dan interpretasi literatur yang relevan, terutama yang berkaitan dengan teknik penanganan ketidakpastian, model pengambilan keputusan, serta fondasi teoretis sistem cerdas. Pendekatan kualitatif digunakan untuk menggali makna, konsep, dan struktur logis dari setiap metode, sementara pendekatan analitis digunakan untuk membandingkan, mengevaluasi, serta mengintegrasikan temuan-temuan tersebut.

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari jurnal ilmiah internasional yang telah melalui proses penelaahan sejawat. Jurnal pertama adalah penelitian dari Mahesar et al yang membahas

pendekatan qualitative confidence levels sebagai alternatif representasi ketidakpastian berbasis linguistik (Mahesar et al., 2017). Jurnal kedua berasal dari Ogheneovo & Nlerum yang menguraikan teori Bayes dan probabilistic reasoning sebagai fondasi matematis pengelolaan ketidakpastian (Ogheneovo & Nlerum, 2020). Jurnal ketiga oleh Niederlinski memperkenalkan konsep Data Marks untuk menilai kualitas fakta dalam basis pengetahuan (Niederlinski, 2018). Jurnal keempat dari Więckowski et al membahas penanganan ketidakpastian bobot kriteria dalam pengambilan keputusan multikriteria (Więckowski et al., 2024).

Selain jurnal utama tersebut, makalah ini juga mengacu pada sejumlah literatur teoretis yang berfungsi sebagai fondasi konseptual sekaligus kerangka analitis dalam memahami ketidakpastian pada Sistem Pakar dan DSS. Literatur ini mencakup karya-karya seminal yang telah menjadi dasar perkembangan kecerdasan buatan, teori ketidakpastian, serta metodologi pengambilan keputusan modern. Karya Turban memberikan struktur mendasar mengenai komponen penyusun DSS, sementara Russell & Norvig menjelaskan prinsip penalaran probabilistik dan representasi pengetahuan. Zadeh memperkenalkan logika fuzzy sebagai pendekatan linguistik terhadap ketidakpastian, dan Shafer menjelaskan teori evidential untuk penggabungan bukti. Pemikiran Power mengenai dinamika DSS memberikan wawasan lebih lanjut mengenai adaptivitas dan fleksibilitas sistem pendukung keputusan modern.

Proses analisis dilakukan melalui pendekatan sistematis yang mencakup beberapa tahap utama. Tahap pertama adalah analisis deskriptif, yang berfokus pada penjabaran konsep-konsep dasar terkait ketidakpastian, model representasi ketidakpastian, serta prinsip kerja metode-metode yang dibahas. Tahap kedua adalah analisis komparatif, yaitu proses membandingkan berbagai pendekatan, teknik, dan model penanganan ketidakpastian untuk mengidentifikasi persamaan, perbedaan, dan konteks penerapannya. Tahap ketiga adalah analisis evaluatif, yaitu penilaian terhadap kelebihan, kelemahan, dan efektivitas metode dalam berbagai situasi pengambilan keputusan berdasarkan referensi akademik. Tahap terakhir adalah sintesis temuan, yaitu proses mengintegrasikan seluruh hasil analisis untuk membangun kerangka konseptual yang komprehensif dan menghasilkan rekomendasi teoretis maupun implikasi praktis bagi pengembangan sistem pakar dan DSS.

Selain itu, analisis data dilakukan melalui pendekatan tambahan yang mengintegrasikan berbagai perspektif. Tahap pertama adalah analisis deskriptif untuk mendeskripsikan konsep fundamental dan karakteristik utama dari metode penanganan ketidakpastian. Tahap kedua adalah analisis komparatif yang membandingkan kelebihan, kekurangan, serta efektivitas dari setiap pendekatan berdasarkan konteks penerapannya. Tahap ketiga adalah analisis evaluatif, yang mengevaluasi efektivitas dan dampak penerapan metode penanganan ketidakpastian berdasarkan indikator kuantitatif maupun kualitatif dalam literatur. Tahap terakhir adalah sintesis temuan untuk menghasilkan pemahaman komprehensif, integratif, serta rekomendasi praktis yang mendukung pengembangan sistem pakar dan DSS di masa mendatang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

2.1 Konsep Ketidakpastian dalam Sistem Pakar dan Decision Support System (DSS)

Ketidakpastian merupakan aspek mendasar yang tidak dapat dihindari dalam proses pengambilan keputusan pada Sistem Pakar dan Decision Support System (DSS). Sistem-sistem ini dirancang untuk meniru cara manusia menganalisis informasi, namun manusia sendiri kerap bekerja dengan data yang tidak lengkap, ambigu, bertentangan, atau berubah dari waktu ke waktu. Karena itu, pemahaman terhadap karakteristik ketidakpastian menjadi elemen fundamental dalam merancang metode penanganan yang mampu menjaga akurasi, konsistensi, dan reliabilitas keputusan.

Dalam konteks dunia nyata yang bersifat dinamis, informasi yang tersedia bagi sistem sering kali tidak representatif sepenuhnya. Data dapat dipengaruhi oleh kualitas pengukuran, gangguan lingkungan, bias manusia, hingga keterbatasan dalam pemodelan fenomena kompleks. Ketidakpastian yang tidak dikelola dengan baik dapat mengakibatkan menurunnya performa sistem, meningkatnya risiko kesalahan, serta melemahnya kepercayaan pengguna (Turban, n.d.). Oleh sebab itu, sebelum membahas metode penanganannya, perlu dilakukan pemetaan terkait bentuk dan sifat ketidakpastian dalam Sistem Pakar dan DSS. Secara umum, ketidakpastian dalam Sistem Pakar dan DSS dapat diklasifikasikan ke dalam empat kategori utama (Power, n.d.).

A. Ketidakpastian Data (Data Uncertainty)

Ketidakpastian data muncul ketika data yang digunakan sistem tidak lengkap, tidak akurat, bersifat ambigu, atau terdistorsi oleh noise. Hal ini umum terjadi pada aplikasi medis, IoT, dan bisnis digital di mana data dikumpulkan secara otomatis dan cepat. Contoh: sensor yang salah membaca suhu, data pasien yang hilang, atau dataset finansial yang bias.

Ketidakpastian data dapat memengaruhi proses inferensi secara langsung karena hasil keputusan sangat bergantung pada kualitas data yang masuk. Jika data yang diberikan tidak memadai, sistem yang paling canggih sekali pun tetap berisiko menghasilkan keputusan yang tidak optimal.

B. Ketidakpastian Pengetahuan (Knowledge Uncertainty)

Ketidakpastian ini terkait dengan pengetahuan pakar yang disimpan dalam basis pengetahuan. Pengetahuan pakar sering kali bersifat subjektif, tidak konsisten, dan bervariasi antar individu.

Contoh: dua dokter yang mendiagnosis pasien dengan interpretasi berbeda terhadap gejala yang sama.

Dalam sistem berbasis aturan (rule-based), ketidakpastian pengetahuan muncul ketika aturan IF THEN tidak mampu menangkap keragaman keyakinan pakar atau variabilitas kondisi dunia nyata. Hal ini membuat sistem tidak cukup fleksibel saat menangani informasi ambigu atau bertentangan.

C. Ketidakpastian Model (Model Uncertainty)

Ketidakpastian model muncul ketika model matematis, logika inferensi, atau struktur komputasi yang digunakan tidak sepenuhnya menggambarkan keadaan nyata. Banyak model disederhanakan agar efisien, tetapi penyederhanaan tersebut dapat mengabaikan variabel penting.

Contoh: model prediksi permintaan yang mengabaikan faktor ekonomi makro atau perilaku konsumen.

Model uncertainty memengaruhi kemampuan sistem untuk mensimulasikan kondisi kompleks, sehingga keputusan yang diambil bisa kurang akurat atau tidak mencerminkan situasi sebenarnya.

D. Ketidakpastian Kognitif (Cognitive Uncertainty)

Ketidakpastian kognitif berkaitan dengan keterbatasan manusia dalam memberikan nilai numerik atau estimasi presisi.

Contoh: pakar lebih mudah mengatakan “kemungkinan besar” daripada memberi nilai 0.73.

Dalam konteks DSS, pengguna sering mengalami kesulitan memahami rekomendasi sistem, yang kemudian memicu perbedaan persepsi risiko dan ketidakkonsistenan dalam membuat keputusan. Hal ini juga disebut *behavioral uncertainty* dan merupakan tantangan penting dalam desain sistem modern.

Selain kategori-kategori tersebut, penting dipahami bahwa ketidakpastian sangat dipengaruhi oleh representasi pengetahuan di dalam sistem. Bentuk representasi seperti aturan IF THEN, model probabilistik, grafik Bayesian, fungsi keanggotaan fuzzy, atau struktur Data Marks memengaruhi bagaimana ketidakpastian dipertahankan dan diproses.

Pada sistem berbasis aturan, struktur logika yang kaku sering tidak mampu mengakomodasi variasi tingkat keyakinan antar pakar. Pada sistem probabilistik, ketidakpastian muncul ketika nilai probabilitas awal (prior) tidak tersedia atau sangat subjektif sehingga hasil perhitungan dapat bias. Selain itu, banyak kasus ketidakpastian merupakan gabungan dari beberapa jenis ketidakpastian. Misalnya dalam diagnosis medis:

- a. Data tidak lengkap (data uncertainty)
- b. Penilaian pakar berbeda (knowledge uncertainty)
- c. Model diagnosis tidak sempurna (model uncertainty)

Ketiga bentuk ketidakpastian tersebut dapat saling memperkuat sehingga meningkatkan risiko kesalahan keputusan.

2.1.1 Ketidakpastian pada Big Data Analytics

Dalam big data, volume besar tidak selalu mengurangi ketidakpastian. Justru sering muncul:

- a. ketidakstabilan pola data,
- b. inkonsistensi antar dataset,
- c. outlier ekstrem,
- d. bias algoritmik.

Hal ini menuntut DSS modern untuk memiliki mekanisme:

- a. data cleansing,
- b. penilaian kualitas data,
- c. pembobotan kualitas informasi sebelum analisis dilakukan.

2.1.2 Ketidakpastian Perilaku (Behavioral Uncertainty)

Dalam banyak kasus, rekomendasi DSS tetap dipengaruhi oleh interpretasi pengguna. Contoh: seorang manajer mungkin mengabaikan rekomendasi sistem karena kecenderungan pribadi atau persepsi risiko tertentu.

DSS modern harus mempertimbangkan variabilitas ini melalui:

- a. penjelasan yang mudah dipahami (*explainable AI*),
- b. personalisasi bobot preferensi,
- c. antarmuka yang responsif terhadap perilaku pengguna.

2.1.3 Ketidakpastian Komputasional (Computational Uncertainty)

Sistem real-time, seperti sistem pemantauan industri dan peringatan bencana, harus memproses data cepat dengan sumber daya terbatas. Informasi yang masuk mungkin belum lengkap, namun keputusan tetap harus segera dibuat. Inilah yang menimbulkan computational uncertainty (Russell & Norvig, n.d.).

2.2 Pembahasan Sistem Pakar

Sistem Pakar merupakan salah satu bentuk kecerdasan buatan yang dirancang untuk mensimulasikan kemampuan seorang ahli dalam menganalisis suatu kondisi dan memberikan keputusan atau rekomendasi. Struktur utama yang membentuk Sistem Pakar meliputi knowledge base, inference engine, working memory, serta user interface. Ketidakpastian menjadi isu penting dalam Sistem Pakar karena pengetahuan pakar sering kali tidak lengkap, ambigu, subjektif, atau dipengaruhi oleh situasi khusus yang tidak dapat dijelaskan secara deterministik.

Penanganan ketidakpastian pada Sistem Pakar dapat dilakukan melalui berbagai pendekatan, seperti probabilistic reasoning, fuzzy logic, qualitative confidence levels, dan Data Marks. Pendekatan ini membantu sistem dalam mengekspresikan tingkat keyakinan, reliabilitas sumber pengetahuan, serta kualitas informasi. Mahesar et al. (2017) menjadi salah satu penelitian yang memberikan kontribusi penting terhadap pengelolaan ketidakpastian berbasis aturan melalui mekanisme qualitative confidence levels.

Mahesar et al. (2017) menunjukkan bahwa pada sistem berbasis aturan, ketidakpastian dapat ditangani dengan memberikan tingkat keyakinan linguistik pada tiap aturan. Pendekatan ini lebih natural bagi pakar manusia yang cenderung mengekspresikan keyakinan secara verbal ("tinggi", "sedang", "rendah"). Kekuatannya terletak pada kemudahan interpretasi dan integrasi dengan aturan yang sudah ada. Namun, keterbatasannya adalah kurang sesuai untuk domain yang membutuhkan presisi tinggi atau pembaruan keyakinan berbasis data kuantitatif.

Dengan demikian, Sistem Pakar membutuhkan pendekatan penanganan ketidakpastian yang adaptif, hibrida, dan sesuai dengan karakteristik domain masalah.

2.3 Pembahasan Decision Support System (DSS)

Decision Support System (DSS) merupakan sistem interaktif berbasis komputer yang membantu pengambil keputusan dalam menganalisis data, menilai alternatif, serta menentukan keputusan optimal. DSS sangat bergantung pada kualitas data, model analitis, dan preferensi pengguna. Ketidakpastian dalam DSS dapat muncul dari keterbatasan data, variabilitas lingkungan, ambiguitas kriteria keputusan, hingga perbedaan persepsi risiko pengguna.

Dalam konteks penanganan ketidakpastian, DSS modern memanfaatkan pendekatan probabilistik seperti Bayesian reasoning, teori fuzzy, evidential reasoning, serta metode pembobotan ketidakpastian pada multi-criteria decision analysis (MCDA). Ogheneovo & Nlerum (2020) berkontribusi melalui penjelasan komprehensif mengenai teori Bayes untuk memperbarui

probabilitas berdasarkan bukti baru, sehingga DSS menjadi lebih adaptif terhadap informasi dinamis.

Pendekatan MCDA modern seperti yang dijelaskan oleh Więckowski et al. (2024) juga memberikan solusi untuk ketidakpastian bobot kriteria. Teknik ini memungkinkan pembobotan dilakukan meskipun preferensi pengguna tidak pasti atau tidak lengkap. Kelebihan pendekatan MCDA terletak pada kemampuannya mengakomodasi banyak variabel sekaligus. Namun, metode ini sering kali membutuhkan komputasi intensif dan validasi parameter yang ketat.

Dengan demikian, DSS memerlukan model penanganan ketidakpastian yang fleksibel, skalabel, dan mampu merepresentasikan kompleksitas preferensi pengguna.

2.4 Pembahasan Berdasarkan Jurnal

2.4.1 Jurnal 1 Pendekatan *Qualitative Confidence Levels* (Mahesar et al., 2017)

Jurnal berjudul "Uncertainty Management for Rule-Based Decision Support Systems" oleh Mahesar, Dimitrova, Magee, dan Cohn (2017) membahas mekanisme penanganan ketidakpastian dalam Sistem Pakar berbasis aturan menggunakan konsep Qualitative Confidence Levels (QCL). Pendekatan ini memperkenalkan representasi ketidakpastian dalam bentuk linguistik, seperti likely, unlikely, atau very likely, sebagai alternatif dari nilai numerik yang kaku.

QCL memungkinkan pakar menyatakan tingkat keyakinan menggunakan istilah yang lebih alami. Dalam banyak kasus, pakar kesulitan memberikan nilai numerik presisi karena pengetahuan mereka bersifat intuitif atau berasal dari pengalaman bertahun-tahun yang sulit dikuantifikasi. Dengan sistem linguistik, proses akuisisi pengetahuan menjadi lebih mudah, dan inferensi dapat berjalan meskipun data tidak lengkap.

Kelebihan

- a. Mencerminkan cara manusia berpikir dan mengekspresikan ketidakpastian.
- b. Tidak memaksa pakar memberikan nilai numerik yang tidak mereka yakini.
- c. Lebih fleksibel dibandingkan metode numerik kaku seperti *certainty factors*.
- d. Cocok untuk domain berbasis heuristik seperti diagnosis awal dan penilaian risiko.

Kekurangan

- a. Sangat bergantung pada konsistensi interpretasi antar pakar.
- b. Sulit digunakan pada domain yang membutuhkan presisi tinggi atau perhitungan statistik.
- c. Rentan terhadap bias linguistik, terutama bila definisi istilah tidak distandardisasi.

Pendapat Penulis :

Analisis mendalam menunjukkan bahwa QCL menjadi pendekatan yang kuat ketika informasi lebih bersifat subjektif dibanding kuantitatif. Penulis menilai bahwa metode ini sangat cocok untuk Sistem Pakar berbasis aturan yang mengandalkan heuristik pakar, namun tidak optimal untuk sistem prediktif yang membutuhkan statistik objektif.

Selain itu, QCL memberikan kontribusi penting dalam menurunkan kompleksitas proses akuisisi pengetahuan. Namun, efektivitasnya sangat ditentukan oleh bagaimana istilah linguistik didefinisikan secara konsisten. Dengan demikian, penulis berpendapat bahwa QCL perlu dikombinasikan dengan metode lain seperti fuzzy logic untuk mengatasi kelemahan pada aspek presisi dan keragaman interpretasi linguistik.

2.4.2 Jurnal 2 *Bayesian Theory and Probabilistic Reasoning* (Ogheneovo & Nlerum, 2020)

Jurnal berjudul "Managing Uncertainty in Artificial Intelligence and Expert Systems Using Bayesian Theory and Probabilistic Reasoning" oleh Ogheneovo dan Nlerum (2020) menguraikan pemodelan ketidakpastian menggunakan teori Bayes. Inti pendekatannya adalah memperbarui probabilitas berdasarkan bukti baru, sehingga sistem dapat menyesuaikan keyakinan seiring penambahan informasi.

Bayesian reasoning menjadi alat analitik yang unggul karena mampu menggabungkan bukti historis dengan observasi baru secara matematis. Pendekatan ini banyak digunakan dalam diagnosis medis, analisis risiko, dan deteksi ancaman siber.

Kelebihan

- a. Memiliki dasar matematis yang kuat dan teruji.
- b. Mampu memperbarui keyakinan secara dinamis sesuai bukti baru.
- c. Mendukung pembuatan struktur *Bayesian Networks* untuk menggambarkan hubungan sebab-akibat.
- d. Cocok untuk domain dengan data besar dan berkualitas baik.

Kekurangan

- a. Sensitif terhadap nilai *prior* yang tidak akurat.
- b. Membutuhkan dataset yang besar dan bersih untuk menghasilkan probabilitas yang stabil.
- c. Komputasi menjadi sangat berat pada model dengan banyak variabel.
- d. Tidak ideal ketika informasi bersifat kualitatif.

Pendapat Penulis

Dari perspektif analitis, teori Bayes memiliki posisi dominan di antara berbagai metode penanganan ketidakpastian karena ketelitian dan kekuatan matematisnya. Penulis menilai bahwa Bayesian reasoning sangat tepat digunakan dalam domain dengan karakteristik data stabil dan terukur, seperti epidemiologi, keuangan, atau prediksi teknis.

Namun, penulis juga menggarisbawahi bahwa teori Bayes tidak cocok sebagai metode tunggal pada domain yang pengetahuannya bersifat intuitif atau linguistik. Tantangan utama terletak pada penentuan nilai prior yang sering kali dipengaruhi subjektivitas atau kurangnya data awal. Oleh karena itu, integrasi dengan metode kualitatif perlu dipertimbangkan untuk meningkatkan robustness model.

2.4.3 Jurnal 3 *Data Marks* (Niederlinski, 2018)

Jurnal berjudul "A New Approach for Modelling Uncertainty in Expert Systems Knowledge Bases" oleh Niederlinski (2018) memperkenalkan konsep Data Marks, yaitu penanda kualitas informasi dalam basis pengetahuan. Setiap fakta atau aturan diberi tanda kualitas untuk menunjukkan tingkat keandalannya.

Data Marks tidak mengubah hasil inferensi, tetapi bekerja sebagai lapisan informasi yang membantu sistem membedakan fakta yang kuat dari fakta yang lemah. Pendekatan ini sangat relevan untuk basis pengetahuan heterogen yang menggabungkan data sensor, informasi pakar, dan dokumen historis.

Kelebihan

- a. Menyediakan kerangka fleksibel untuk menilai kualitas fakta.
- b. Tidak mengganggu atau memodifikasi mekanisme inferensi utama.
- c. Sangat cocok untuk sistem dengan sumber informasi beragam.
- d. Lebih realistik daripada *certainty factors* karena mengakui perbedaan kualitas data.

Kekurangan

- a. Pemberian nilai Data Marks tetap membutuhkan subjektivitas pakar.
- b. Interpretasi nilai dapat berbeda antara satu pakar dan lainnya.
- c. Tidak memberikan algoritme kuantitatif untuk perhitungan probabilitas.

Pendapat Penulis

Penulis menilai Data Marks sebagai langkah evolusioner dalam penanganan ketidakpastian struktural dalam Sistem Pakar. Keunggulan utamanya terletak pada kemampuannya mempertahankan integritas proses inferensi tanpa memaksakan transformasi numerik pada fakta yang kualitatif.

Dalam analisis mendalam, penulis melihat bahwa Data Marks dapat berfungsi sebagai *bridge* antara pendekatan linguistik dan probabilistik. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada keahlian pakar dalam memberi penilaian kualitas. Dengan demikian, standar penilaian atau skala kualitas sebaiknya dikembangkan untuk mengurangi subjektivitas.

2.5 Jurnal 4 Ketidakpastian Bobot dalam MCDA (*Weight Uncertainty*)

Jurnal berjudul "A New Approach for Handling Uncertainty of Expert Judgments in Complex Decision Problems" oleh Więckowski et al. (2024) menjelaskan bagaimana bobot kriteria dalam pengambilan keputusan multikriteria (MCDA) dapat mengalami ketidakpastian. Biasanya bobot dianggap pasti, padahal dalam kenyataannya bobot dapat berubah bergantung kondisi, perspektif pakar, atau dinamika lingkungan.

Metode partial *order* dan *total order* digunakan untuk menghasilkan berbagai kombinasi bobot yang masih dianggap valid. Hal ini meningkatkan robustness keputusan.

Kelebihan

- a. Lebih realistik karena mengakui variabilitas bobot kriteria.
- b. Mengurangi bias pakar dengan menyajikan rentang kemungkinan bobot.
- c. Cocok untuk pengambilan keputusan strategis yang kompleks.
- d. Dapat digunakan untuk analisis risiko dan perencanaan jangka panjang.

Kekurangan

- a. Proses perhitungan memerlukan komputasi tinggi.
- b. Kurang intuitif bagi pengguna non-teknis.
- c. Memerlukan alat bantu khusus agar implementasinya efektif.

Pendapat Penulis

Dalam analisis mendalam, penulis melihat bahwa pendekatan ini sangat kuat dalam menangani ketidakpastian struktural dalam DSS khususnya yang melibatkan banyak kriteria kompetitif. MCDA yang mengakomodasi ketidakpastian bobot mampu menghasilkan keputusan yang lebih stabil karena mempertimbangkan banyak skenario bobot.

Namun, kompleksitasnya membuat pendekatan ini tidak ideal untuk sistem operasional tingkat dasar. Penulis menilai metode ini paling tepat digunakan untuk domain strategis seperti manajemen risiko perusahaan, analisis portofolio, atau perencanaan industri.

2.6 Analisis Integratif antar Keempat Pendekatan

Keempat jurnal memberikan perspektif berbeda yang saling melengkapi.

- a. QCL menguatkan aspek linguistik.
- b. Bayesian memperkuat aspek probabilistik.
- c. Data Marks meningkatkan penilaian kualitas.
- d. MCDA weight uncertainty memperluas ketangguhan keputusan multikriteria.

Pendekatan integratif memungkinkan sistem cerdas menangani berbagai bentuk ketidakpastian mulai dari subjektivitas pakar, kualitas data, probabilitas kejadian, hingga variabilitas bobot.

2.7 Analisis dan Sintesis Keseluruhan

Ketidakpastian merupakan elemen tak terpisahkan dalam setiap proses inferensi dan pengambilan keputusan. Keempat jurnal yang dianalisis memperlihatkan bahwa ketidakpastian dapat muncul dari:

- a. data
- b. pengetahuan pakar
- c. struktur model
- d. serta bobot preferensi keputusan

Pendekatan probabilistik memberikan kekuatan matematis yang unggul, tetapi bersifat kaku terhadap kekurangan data. Pendekatan linguistik bersifat fleksibel, tetapi kehilangan presisi. Data Marks mengisi celah kualitas informasi, sedangkan MCDA memberikan perspektif strategis untuk keputusan kompleks.

KESIMPULAN

Kajian komprehensif mengenai ketidakpastian dalam Sistem Pakar dan Decision Support System (DSS) mengungkap sejumlah temuan penting terkait mekanisme, sumber, serta strategi pengelolaan ketidakpastian dalam proses pengambilan keputusan berbasis komputer. Pertama, ketidakpastian terbukti muncul pada berbagai lapisan sistem mulai dari data, pengetahuan, model, hingga perilaku pengguna sehingga proses inferensi dan rekomendasi sangat dipengaruhi oleh kualitas representasi informasi yang digunakan. Sistem Pakar dan DSS tidak hanya menghadapi ketidakpastian teknis, tetapi juga ketidakpastian linguistik, subjektivitas pakar, variabilitas lingkungan, hingga keterbatasan arsitektur komputasi yang memengaruhi kecepatan dan akurasi pemrosesan.

Analisis empat jurnal menunjukkan bahwa setiap pendekatan penanganan ketidak pastian memiliki kekuatan dan keterbatasannya masing-masing. Qualitative Confidence Levels memberikan fleksibilitas linguistik dalam representasi keyakinan pakar, namun rentan terhadap subjektivitas. Bayesian probabilistic reasoning menawarkan struktur matematis yang kuat untuk memperbarui keyakinan berdasarkan bukti baru, tetapi membutuhkan data prior yang akurat. Data

Marks memperkuat transparansi dan akuntabilitas melalui penandaan kualitas informasi, namun tetap memerlukan interpretasi subjektif. Sementara itu, MCDA Weight Uncertainty memberikan kerangka yang robust dalam kondisi multikriteria, meskipun menuntut kompleksitas komputasi yang tinggi.

Ketiga, sintesis temuan literatur menegaskan bahwa ketidakpastian tidak dapat dikelola secara efektif dengan satu metode tunggal. Integrasi pendekatan kualitatif, probabilistik, dan struktural terbukti lebih adaptif terhadap kompleksitas dunia nyata. Dengan memadukan analisis linguistik, pembaruan probabilitas, penilaian kualitas data, dan pembobotan multikriteria, sistem pengambilan keputusan dapat mencapai tingkat reliabilitas, transparansi, dan adaptivitas yang lebih tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa masa depan Sistem Pakar dan DSS kemungkinan besar akan bergerak menuju model hibrida yang mampu menangani dimensi ketidakpastian secara lebih menyeluruh dan kontekstual.

REFERENSI

- Ayunita, D., & Asbari, M. (2025). Memahami konsep dasar komunikasi bisnis: A literature review. *Jurnal Ilmu Sosial, Manajemen, Akuntansi dan Bisnis*. <https://doi.org/10.70508/P2QHKB26>
- Erikasari, V. Z., Maharani, T. F., & Rilvani, E. (2025). Literature review: Blockchain dan edge computing dalam optimalisasi sistem terdistribusi masa depan. *SISFOTENIKA*.
- Febriansyah, M., & Dwicahya, F. (2024). Sistem kendali dan monitoring kondisi ruangan untuk penderita sleep apnea berbasis IoT. *Deleted Journal*.
- Hannum, R., Fadhilah, J., Pratiwi, R., Ramadhan, A. R., & Mujiyatun, S. (2025). Penerapan filsafat ilmu dalam penyusunan karya ilmiah. *Deleted Journal*. <https://doi.org/10.61132/JMPAI.V3I2.967>
- Hartanto, S. (2021). Ketidakpastian dan kompleksitas rantai pasok dalam kinerja operasional yang berkelanjutan. *JEA17: Jurnal Ekonomi Akuntansi*.
- Hidayat, R., Afandi, A. N., Siregar, M., & Mujiyatun, S. (2024). Peran filsafat ilmu dalam meningkatkan kualitas penelitian manajemen: Pendekatan epistemologi, ontologi, dan aksiologi. *Jurnal Lentera Bisnis*. <https://doi.org/10.34127/JRLAB.V13I3.1310>
- Irwan, I., Perdana, F. W., Latuheru, P. M., Khairani, M., & Kartini, S. (2021). Pemikiran tokoh pakar hukum lima paradigma. *Jurnal Indonesia Sosial Sains*.
- Jannah, G. R., Anjani, D. M., Puspa, G. R., Garniz, H., Mardani, M., & Nurgiartiningsih, V. M. A. (2023). Manajemen strategis. *Jurnal Manajemen dan Pemasaran (JUMPER)*.
- Karimaliana, Zaim, M., & Thahar, H. E. (2023). Pemikiran rasionalisme: Tinjauan epistemologi terhadap dasar-dasar ilmu pendidikan dan pengetahuan manusia. *Journal of Educational Research*.
- Khakim, Z., & Honbolygó, F. (2022). Mismatch negativity (MMN): Komponen event-related potentials (ERP) sebagai penanda aktivitas otomatis otak dalam mendeteksi perubahan. *Buletin Psikologi*.
- Mahesar, Q., Dimitrova, V. G., Magee, D. R., & Cohn, A. G. (2017). Uncertainty management for rule-based decision support systems. In *Proceedings of the International Conference on Tools with Artificial Intelligence*.
- Murtopo, P., Yulianto, I. D., Suparno, & Saparuddin. (2025). Penerapan pemodelan konsep dinamis dalam keputusan bisnis: Optimalisasi keputusan dengan linear optimization, decision tree,

- dan scenario test. *Journal of Accounting and Finance Management*.
- Niederlinski, A. (2018). A new approach for modelling uncertainty in expert systems knowledge bases. *Archives of Control Sciences*, 28(1), 19–34.
- Ogheneovo, E. E., & Nlerum, P. A. (2020). Managing uncertainty in artificial intelligence and expert systems using Bayesian theory and probabilistic reasoning. *American Journal of Engineering Research*, 9(3), 53–59.
- Power, D. J. (n.d.). *Decision support systems: Concepts and resources for managers*. University of Northern Iowa.
- Russell, S., & Norvig, P. (n.d.). *Artificial intelligence: A modern approach*. Pearson.
- Sulartopo, Kholifah, S., Danang, & Santoso, J. T. (2023). Transformasi proyek melalui keajaiban kecerdasan buatan: Mengexplorasi potensi AI dalam project management. *Jurnal Publikasi Ilmu Manajemen*.
- Syaharuddin. (2024). Integration of Bayesian methods in machine learning: A theoretical and empirical review. *INSERT: Information System and Emerging Technology Journal*.
- Turban, E. (n.d.). *Decision support system and intelligent systems*. Pearson.
- Więckowski, J., Sałabun, W., & Kizielewicz, B. (2024). A new approach for handling uncertainty of expert judgments in complex decision problems. *IEEE Access*. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3445265>
- Wijiati, L., Sari, Y. A., Ningrum, I. K., Azainil, & Komariyah, L. (2025). Pengambilan keputusan berdasarkan fakta dalam sistem manajemen mutu di sekolah. *Akademik: Jurnal Mahasiswa Humanis*.