

SISTEM PAKAR DIAGNOSA KERUSAKAN REM MOBIL BERBASIS WEB MENGGUNAKAN METODE *HYBRID FUZZY-BAYESIAN*

Ismail^{1*}, Nurwidya², Ahmad Abadi³

^{1,2,3}Program Studi Sistem Informasi, Universitas Lamappapoleonro

E-mail: ismail@unipol.ac.id^{1*}, nurwidya1004@gmail.com², ahmadabadi887@gmail.com³

INFO ARTIKEL

Sejarah Artikel

Diterima : 24/11/2025

Direvisi : 02/12/2025

Diterbitkan : 03/12/2025

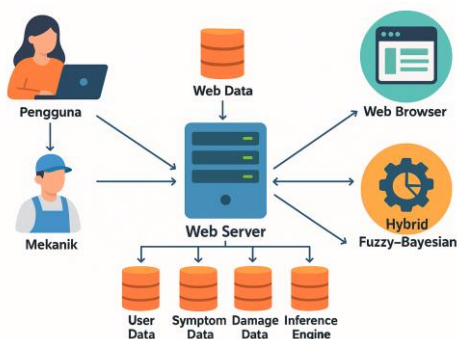
*Corresponding author

ismail@unipol.ac.id

DOI: 10.70247/jumistik.v4i2.237

<https://ojs.amiklps.ac.id>

GRAPHICAL ABSTRACT



ABSTRACT

Brake system failures are often difficult to detect at an early stage due to ambiguous, gradual, and subjective symptoms such as soft brake pedals, squeaking noise, or vibration during braking. These conditions lead to inconsistent manual diagnosis performed by mechanics and may delay proper maintenance. This study aims to develop a web-based expert system capable of producing more accurate brake damage diagnoses by implementing the Hybrid Fuzzy-Bayesian method. Fuzzy logic is applied to model uncertainty in symptom input through membership functions, while Bayesian inference calculates the posterior probability of each damage type based on prior probability and fuzzy-derived likelihood values. The research includes primary data collection from automotive experts, system architecture design, development of a web-based inference engine, and system testing through blackbox and beta testing. Results from 30 real cases show that the system achieves an accuracy of 83.3% and receives positive feedback regarding usability and diagnostic reliability. This study contributes to advancing more precise diagnostic methods in the automotive domain and introduces methodological novelty through the integration of fuzzy reasoning and Bayesian inference in a unified decision-making framework.

Keywords: Expert System, Fuzzy Logic, Bayesian Inference, Brake System, Fault Diagnosis

ABSTRAK

Kerusakan rem mobil sering kali sulit dideteksi sejak dini karena gejala yang muncul bersifat kabur, bertahap, dan subjektif, seperti pedal rem terasa lembek, bunyi decitan, atau getaran saat pengereman. Kondisi ini menyebabkan diagnosis manual yang dilakukan mekanik sering tidak konsisten dan berpotensi menimbulkan keterlambatan penanganan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pakar berbasis web yang mampu memberikan diagnosis kerusakan rem secara lebih akurat melalui penerapan metode Hybrid Fuzzy-Bayesian. Metode fuzzy digunakan untuk memodelkan ketidakpastian gejala melalui fungsi keanggotaan, sementara Bayesian inference menghitung probabilitas akhir kerusakan berdasarkan prior probability dan likelihood hasil inferensi fuzzy. Penelitian dilakukan melalui pengumpulan data primer dari mekanik, perancangan arsitektur sistem, pembangunan mesin inferensi berbasis web, serta pengujian menggunakan blackbox dan beta testing. Berdasarkan pengujian 30 kasus nyata, sistem mencapai akurasi 83,3% dan mendapatkan respons positif dari pengguna terkait kemudahan penggunaan dan kesesuaian hasil diagnosis. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan metode diagnosis yang lebih presisi dalam bidang otomotif serta menghadirkan inovasi melalui integrasi fuzzy dan Bayesian dalam model inferensi terpadu.

Kata kunci: Sistem Pakar, Fuzzy Logic, Bayesian Inference, Rem Mobil, Diagnosis Kerusakan.

© 2025 Penerbit STMIK Amika Soppeng. All rights reserved

PENDAHULUAN

Rem mobil merupakan salah satu komponen paling kritis dalam sistem keselamatan kendaraan, karena berfungsi langsung untuk mengendalikan laju serta menghentikan mobil secara aman [1]. Gangguan pada sistem rem, mulai dari penurunan performa hingga kegagalan total, dapat menimbulkan risiko kecelakaan yang serius [2]. Namun, dalam praktiknya, banyak kerusakan komponen rem tidak terdeteksi sejak awal karena tanda-tandanya sering muncul secara bertahap dan bersifat tidak tegas. Kondisi seperti rem menjadi kurang responsif, bunyi gesekan yang samar, atau perubahan tekanan pada pedal seringkali tidak segera dikenali sebagai indikasi kerusakan [3]. Hal ini menyebabkan banyak pengguna mobil datang ke bengkel hanya setelah kerusakan mencapai tahap yang lebih parah.

Proses diagnosis manual yang dilakukan mekanik sering mengalami kendala karena gejala kerusakan rem bersifat subjektif dan tidak terukur secara pasti. Mekanik umumnya mengandalkan pengalaman dan intuisi dalam menafsirkan keluhan pengguna, seperti pedal rem terasa lebih dalam, munculnya getaran saat pengereman, atau adanya suara decitan [4]. Gejala-gejala ini bersifat *fuzzy* atau kabur, karena tingkat keparahan dan persepsinya dapat berbeda pada setiap pengemudi maupun kondisi kendaraan. Ketidakpastian gejala tersebut membuat diagnosis manual berpotensi menghasilkan interpretasi yang beragam, sehingga akurasi penentuan jenis kerusakan menjadi sulit dijamin secara konsisten [5].

Keterbatasan diagnosis berbasis intuisi mekanik ini menunjukkan perlunya pendekatan yang lebih terstruktur dan sistematis, salah satunya melalui penerapan sistem pakar. Sistem pakar dirancang untuk meniru proses pengambilan keputusan seorang ahli, sehingga dapat membantu memberikan diagnosis yang lebih objektif dan dapat direplikasi. Namun demikian, metode sistem pakar tradisional yang mengandalkan aturan deterministik (*rule-based*) sering kali kurang mampu menangani gejala yang bersifat tidak pasti. Ketika gejala tidak dapat dinyatakan secara pasti dalam bentuk benar-salah, pendekatan deterministik menjadi kurang efektif dalam menghasilkan diagnosis yang akurat [6].

Berdasarkan tantangan tersebut, diperlukan model inferensi yang mampu mengakomodasi ketidakpastian dan probabilitas dalam satu kerangka kerja yang terpadu. Integrasi metode *fuzzy logic* dan *Bayesian inference* menjadi salah satu solusi yang menjanjikan [7]. *Fuzzy logic* efektif dalam merepresentasikan gejala yang bersifat kabur melalui fungsi keanggotaan (*membership function*), sedangkan *Bayesian inference* mampu menghitung tingkat probabilitas suatu kerusakan berdasarkan bukti atau gejala yang diberikan. Dengan menggabungkan kedua pendekatan ini, proses inferensi dapat menangani pernyataan gejala yang

tidak pasti sekaligus memproduksi keluaran diagnosis yang memiliki dasar probabilistik yang lebih kuat [8].

Selain aspek metodologis, pengembangan sistem pakar dalam bentuk aplikasi berbasis web memberikan nilai tambah dalam hal aksesibilitas dan kemudahan penggunaan [9]. Sistem berbasis web memungkinkan mekanik maupun pengguna kendaraan untuk memperoleh diagnosis awal tanpa harus terikat perangkat khusus atau instalasi software tertentu [10]. Hal ini meningkatkan fleksibilitas penggunaan sistem dan mendukung proses deteksi dini kerusakan rem secara lebih cepat dan praktis [11].

Penelitian ini memiliki novelty berupa penerapan metode *Hybrid Fuzzy-Bayesian* dalam diagnosis kerusakan rem mobil. Pendekatan ini mengintegrasikan nilai keanggotaan *fuzzy* dengan pembaruan probabilistik Bayes dalam satu model inferensi yang utuh, sehingga menghasilkan keputusan yang lebih presisi dibandingkan penggunaan salah satu metode secara terpisah [12]. Dengan kombinasi tersebut, sistem diharapkan mampu memberikan diagnosis yang akurat meskipun gejala yang diterima bersifat ambigu atau berbeda tingkat kepastiannya. Pendekatan ini sekaligus memperkaya kajian sistem pakar dalam bidang otomotif, terutama pada deteksi kerusakan komponen vital seperti rem mobil.

TINJAUAN PUSTAKA

Sistem Pakar dan Aplikasinya dalam Diagnosa Teknis

Sistem pakar (*Expert System*) secara umum merupakan sistem berbasis pengetahuan yang meniru kemampuan seorang pakar dalam bidang tertentu, dengan komponen utama berupa *knowledge base* dan *inference engine* [13]. Aplikasi sistem pakar dalam domain otomotif semakin penting dalam beberapa tahun terakhir, karena kompleksitas kendaraan modern dan meningkatnya kebutuhan untuk diagnosis cepat dan presisi. Misalnya sebuah sistem pakar automobil yang menggabungkan *forward chaining* dan jaringan Bayesian dirancang untuk membantu bengkel dalam mendiagnosa kegagalan kendaraan. Dengan demikian, penggunaan sistem pakar memungkinkan mekanik maupun pengguna memperoleh diagnosis awal yang lebih sistematis dibandingkan hanya mengandalkan intuisi atau pengalaman saja [14].

Logika Fuzzy

Logika fuzzy telah diterapkan secara luas dalam sistem diagnosis untuk menangani gejala yang bersifat kabur atau subjektif [15], seperti “pedal rem terasa lembek”, “bunyi decitan”, atau “getaran saat pengereman”. Dalam penelitian sistem berbasis web untuk deteksi kesalahan otomotif menggunakan algoritma *Mamdani fuzzy* berhasil meningkatkan akurasi diagnosis dibandingkan metode biner tradisional. Hal ini menunjukkan bahwa logika fuzzy sangat relevan untuk domain kerusakan rem mobil [16], dimana input (gejala) sering tidak memiliki ukuran yang tajam atau definitif

Bayesian Inference untuk Pengambilan Keputusan Probabilistik

Logika fuzzy fokus pada representasi ketidakpastian gejala, pendekatan Bayesian memberikan kerangka untuk menghitung probabilitas suatu kerusakan berdasarkan bukti atau gejala yang teramati [17]. Dengan menggunakan probabilitas a priori dan likelihood, Bayesian inference memungkinkan sistem untuk memperbarui keyakinan diagnosis secara dinamis ketika gejala baru muncul atau tambahan bukti tersedia [18].

Pendekatan Hybrid Fuzzy–Bayesian

Pendekatan fuzzy dan Bayesian memiliki keunggulan tersendiri, namun masing-masing juga memiliki keterbatasan: fuzzy kurang menimbang probabilitas yang tersedia, sementara Bayesian masih membutuhkan data probabilistik yang cukup dan sulit menangani gejala yang sangat kabur. Untuk mengatasi hal tersebut, metode *hybrid* yang menggabungkan *fuzzy logic* dan *Bayesian inference* mulai berkembang [18]. Metode *hybrid* memungkinkan representasi fuzzy untuk gejala yang tidak pasti, dilanjutkan dengan perhitungan probabilitas Bayesian untuk menentukan diagnosis yang paling mungkin secara kuantitatif [19].

Diagnosa Kerusakan Rem Mobil

Diagnosis kerusakan rem mobil menghadapi tantangan khas: gejala bisa sangat bervariasi, seperti pedal rem bergetar, rem terasa lebih dalam, bunyi decitan, kebocoran fluida rem, dan lain-lain. Sebuah studi tentang “*Fault Diagnosis of Electric Vehicle Braking System*” menyoroti bahwa sistem rem khususnya pada kendaraan listrik dengan sistem regeneratif memiliki berbagai jenis kerusakan, dari keausan mekanis hingga kegagalan sensor, yang memerlukan pemantauan real-time dan metode diagnosis canggih [20]. Dalam konteks ini, metode tradisional berbasis aturan deterministik (*IF-THEN*) sering kurang optimal karena tidak mampu menangani gejala yang bersifat fuzzy atau kondisi di mana banyak komponen bisa mengalami kegagalan simultan [21].

Sistem Pakar Berbasis Web untuk Diagnosa Otomotif

Mengetahui bahwa akses cepat dan kemudahan penggunaan penting dalam aplikasi praktis bagi mekanik atau pengguna kendaraan, maka pengembangan sistem berbasis web menjadi pilihan yang strategis. Pengembangan sistem pakar berbasis web memungkinkan mekanik dan pengguna kendaraan untuk melakukan diagnosis awal kapan saja, di mana saja, tanpa harus bergantung pada peralatan diagnostik khusus. Sistem pakar berbasis web juga memberikan fleksibilitas dalam pembaruan basis pengetahuan, sehingga pakar dapat menambahkan gejala maupun jenis kerusakan baru tanpa perlu melakukan instalasi ulang aplikasi [22]. Selain itu, integrasi sistem dengan browser membuat proses diagnosis lebih ringan karena tidak memerlukan

spesifikasi perangkat yang tinggi, sehingga dapat digunakan di berbagai perangkat seperti komputer, tablet, maupun ponsel. Kelebihan lain dari pendekatan berbasis web adalah kemampuannya untuk mendukung kolaborasi data secara real-time, memungkinkan mekanik dari lokasi berbeda berkontribusi dalam validasi kasus dan peningkatan akurasi sistem secara berkelanjutan [23].

State Of The Art

Adapun perbedaan (kebaharuan) penelitian ini dapat dilihat pada tabel 1 berikut:

Tabel 1. State of The Art

No	Judul	Metode	Hasil	Perbedaan dengan Penelitian Sekarang
1	An Integrated Fuzzy Fault Tree Model with Bayesian Network-Based Maintenance Optimization of Complex Equipment in Automotive Manufacturing [24]	Integrasi Fuzzy Fault Tree Analysis + Bayesian Network	Menunjukkan bahwa kombinasi Fuzzy + Bayesian meningkatkan prediksi probabilitas kegagalan di sistem otomotif produksi	spesifik ke komponen rem mobil dan berbasis web sehingga punya spesialisasi dan aplikasi berbeda
2	Diagnosis with a hybrid fuzzy–Bayesian inference approach [25]	Hybrid Fuzzy + Bayesian inference untuk diagnosis umum	Menunjukkan bahwa metode hibrida lebih baik dari metode tunggal dalam diagnosis sistem teknik	Penelitian sekarang fokus mengaplikasikan ke domain rem
3	A Bayesian network development methodology for fault analysis; case study of the automotive aftertreatment system [26]	metodologi Bayesian Network	Menyajikan framework pembuatan jaringan Bayesian untuk sistem teknik	Penelitian Sekarang menggabungkan fuzzy logic + Bayesian inference dalam sistem pakar rem berbasis web

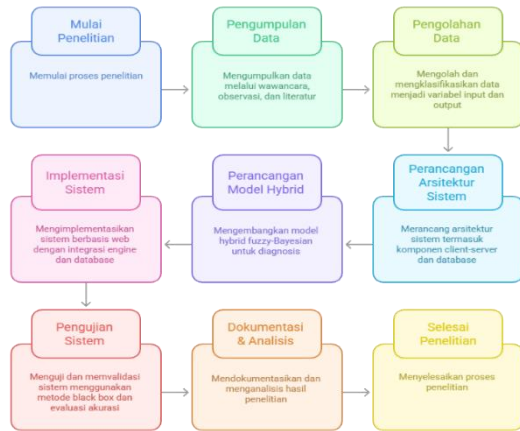
Sumber : Hasil Olahan Penelitian

Novelty penelitian ini terletak pada pengembangan model sistem pakar diagnosis kerusakan rem mobil berbasis web yang mengintegrasikan metode Hybrid Fuzzy–Bayesian dalam satu mekanisme inferensi terpadu. penelitian ini menggabungkan kemampuan fuzzy dalam merepresentasikan gejala yang bersifat kabur dengan pembaruan probabilistik Bayesian untuk menghasilkan keputusan diagnosis yang lebih presisi dan terukur.

METODOLOGI PENELITIAN

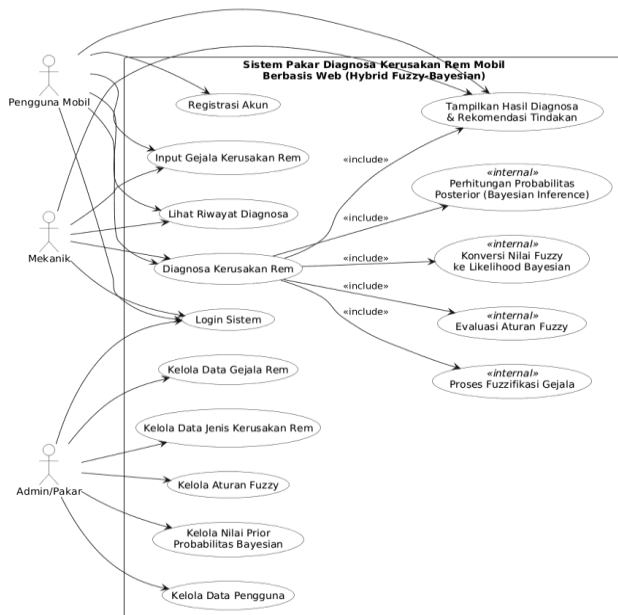
Tahapan Penelitian

Metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sistematis yang dirancang untuk mengembangkan dan mengevaluasi sistem pakar diagnosis kerusakan rem mobil berbasis web menggunakan metode *Hybrid Fuzzy–Bayesian*. Tahapan penelitian disusun untuk memastikan bahwa proses pembangunan sistem, perancangan model inferensi, hingga pengujian berjalan secara terukur dan dapat direplikasi. Tahapan penelitian dapat dilihat pada flow diagram berikut:



Gambar 1. Tahapan Penelitian
(Sumber: Hasil Olahan Data)

Selanjutnya untuk rancangan sistem dibuat menggunakan use case agar implementasi program dapat dibuat dengan baik. Use case diagram dapat dilihat seperti berikut:



Gambar 2. Use Case diagram Sistem
(Sumber: Hasil Olahan Penelitian)

Gambar 2 use case diagram tersebut menjelaskan interaksi antara tiga aktor utama Pengguna Mobil, Mekanik, dan Admin/Pakar dengan Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Rem Mobil Berbasis Web menggunakan metode *Hybrid Fuzzy–Bayesian*. Pengguna Mobil dan Mekanik memiliki peran yang hampir serupa, yaitu melakukan registrasi, login, memasukkan gejala kerusakan rem, menjalankan proses diagnosis, melihat hasil diagnosis beserta rekomendasi, serta mengakses riwayat diagnosis sebelumnya. Proses *Diagnosa Kerusakan Rem* memanggil beberapa use case internal secara berurutan, yaitu proses fuzzifikasi gejala, evaluasi aturan fuzzy, konversi nilai fuzzy menjadi *likelihood Bayesian*, dan perhitungan probabilitas posterior menggunakan inferensi Bayesian.

Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan melalui kombinasi data primer dan data sekunder untuk memastikan bahwa proses pembangunan sistem pakar didasarkan pada informasi yang akurat dan dapat dipertanggungjawabkan. Data primer diperoleh melalui wawancara semi-terstruktur dengan mekanik otomotif berpengalaman guna mengidentifikasi jenis gejala kerusakan rem, tingkat keparahannya, serta hubungan antara gejala dan kerusakan yang dijadikan dasar dalam penyusunan aturan fuzzy dan nilai prior pada model Bayesian. Sementara itu, data sekunder diperoleh melalui studi literatur yang mencakup dokumen manual servis kendaraan, referensi teknis terkait sistem rem, serta artikel penelitian terdahulu mengenai sistem pakar, fuzzy logic, dan Bayesian inference. Adapun pemetaan data yang digunakan pada penelitian ini diuraikan pada tabel 2 berikut:

Tabel 2. Pemetaan Data Kerusakan Rem Mobil

Kode Gejala	Deskripsi Gejala	Deskripsi Kerusakan
G1	Pedal rem terasa lembek	Kebocoran minyak rem, master rem lemah
G2	Bunyi decitan saat pengereman	Kampas rem aus, disc brake kotor
G3	Pedal rem bergetar	Disc brake tidak rata, kaliper macet
G4	Rem kurang responsif	Kampas aus, master rem rusak
G5	Minyak rem berkurang	Kebocoran selang rem, silinder bocor
G6	Mobil menarik ke satu sisi saat pengereman	Kaliper macet, tekanan hidrolik tidak seimbang
G7	Bau hangus setelah pengereman	Kampas rem aus, kaliper macet

Sumber : Hasil Wawancara Mekanik Toyota Soppeng

Selanjutnya untuk menghasilkan analisis data yang lebih akurat maka dibuat kategori tingkat keparahan kerusakan Rem Mobil. Adapun kategori level

kerusakan rem mobil dapat dilihat pada tabel 3 berikut:

Kategori	Nilai	Jenis MF	Parameter
Rendah	0-3	Linear naik	(0, 0, 4)
Sedang	4-7	Segitiga	(3, 5, 7)
Tinggi	8-10	Linear Turun	(6, 10, 10)

Sumber : Hasil Analisis dengan Menggunakan Fuzzy

Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan menerapkan metode *Hybrid Fuzzy-Bayesian* terhadap data kasus nyata kerusakan rem mobil yang diperoleh dari bengkel. Setiap data kasus berisi kombinasi gejala yang dirasakan pengguna beserta hasil diagnosis pakar sebagai acuan kebenaran. Data tersebut kemudian diolah melalui beberapa tahap analisis terstruktur, meliputi fuzzifikasi gejala, inferensi fuzzy berbasis aturan pakar, konversi hasil fuzzy menjadi *likelihood Bayesian*, perhitungan probabilitas posterior, dan perbandingan hasil diagnosis sistem dengan diagnosis pakar.

Probabilitas posterior untuk setiap kerusakan dihitung menggunakan Teorema Bayes:

$$P(K_i | Gejala) = \frac{P(Gejala | K_i) \cdot P(K_i)}{\sum_j P(Gejala | K_j) \cdot P(K_j)}$$

Dimana;

P = Prior Probability

K = Likelihood

Dengan memasukkan nilai prior dan *likelihood* (yang diperoleh dari fuzzy), dihasilkan posterior untuk setiap jenis kerusakan. Jenis kerusakan dengan nilai posterior terbesar dipilih sebagai hasil diagnosis utama sistem.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Sistem pakar diagnosis kerusakan rem mobil berhasil diimplementasikan dalam bentuk aplikasi berbasis web. Pengguna dapat mengakses sistem melalui antarmuka web untuk memasukkan gejala kerusakan rem yang dialami, seperti pedal rem lembek, bunyi decitan, getaran saat pengereman, dan kondisi minyak rem. Sistem kemudian menjalankan proses inferensi *Hybrid Fuzzy-Bayesian* untuk menghasilkan diagnosis dan tingkat probabilitas kerusakan yang mungkin terjadi. Adapun hasil implementasi sistem sebagai berikut:

1. Halaman Login

Halaman ini merupakan gerbang akses utama ke Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Rem Mobil berbasis metode *Hybrid Fuzzy-Bayesian*. Pengguna yang telah terdaftar dapat masuk dengan memasukkan username dan password sesuai akun masing-masing. Halaman login dapat dilihat pada gambar 3 berikut :

Gambar 3. Halaman Login
(Sumber : Hasil Implementasi Sistem)

2. Halaman Dashboard

Halaman Dashboard Sistem Pakar dirancang sebagai pusat kendali utama bagi pengguna dalam mengelola seluruh aktivitas diagnosis kerusakan rem mobil. Pada halaman ini, pengguna dapat melihat ringkasan informasi terkini, termasuk jumlah data gejala, jenis kerusakan, serta riwayat diagnosis yang telah dilakukan. Hasil implementasi Halaman dashboard Sistem dapat dilihat pada gambar 4 berikut:

Gambar 4. Halaman Dashboard
(Sumber : Hasil Implementasi Sistem)

3. Halaman Data Gejala Kerusakan

Gambar Halaman Data Gejala menunjukkan tampilan halaman Form Gejala pada Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Rem Mobil berbasis web. Halaman ini berfungsi sebagai modul pengelolaan gejala yang digunakan oleh admin atau pakar untuk menambah, memperbarui, dan menghapus data gejala yang akan digunakan dalam proses diagnosis. Halaman Data Gejala kerusakan dapat dilihat pada gambar 5 berikut:

Gambar 5. Halaman Gejala Kerusakan
(Sumber : Hasil Implementasi Sistem)

Dari gambar 5 tersebut, Komponen pertama adalah formulir Tambah Gejala Baru, yang memungkinkan admin memasukkan nama gejala baru serta memilih jenis kerusakan terkait dari daftar pilihan yang tersedia. Setelah informasi lengkap dimasukkan, admin dapat menekan tombol Tambah Gejala untuk menyimpan data tersebut ke dalam basis pengetahuan sistem. Komponen kedua adalah tabel Daftar Gejala, yang menampilkan seluruh gejala yang telah terdaftar lengkap dengan informasi kerusakan yang terkait.

4. Halaman Data Jenis Kerusakan

Halaman Data Jenis Kerusakan merupakan halaman Form Kerusakan pada Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Rem Mobil. Halaman ini berfungsi sebagai modul yang digunakan oleh admin atau pakar untuk mengelola data kerusakan rem yang menjadi dasar dalam proses diagnosis. Tampilan halaman data kerusakan dapat dilihat pada gambar 6 berikut:

Nama Kerusakan	Deskripsi Kerusakan	Aksi
Rem Kering	Rem tidak berfungsi dengan baik karena karet rem aus atau kebocoran cairan rem.	Hapus
Rem Aus	Kampas rem sudah mencapai dan perlu diganti.	Hapus
Kampas rem	Mobil tidak dapat berhenti saat di rem.	Hapus
Cakram tidak rata	Mobil bergemer saat mengemir.	Hapus

Gambar 6. Halaman Data Jenis Kerusakan
(Sumber : Hasil Implementasi Sistem)

5. Halaman Diagnosa Kerusakan

Halaman Diagnosa Kerusakan merupakan halaman *Diagnosa Sistem Pakar* yang digunakan oleh pengguna untuk memilih gejala kerusakan rem yang sedang dialami pada kendaraan. Tampilan Halaman Diagnosa Kerusakan dapat dilihat pada gambar 7 berikut:

Gambar 7. Halaman Data Diagnosa
(Sumber : Hasil Implementasi Sistem)

Pada halaman ini, tersedia menu *drop-down* yang berisi daftar gejala, seperti “rem terasa keras,” “suara berisik saat menginjak rem,” “mobil tidak bisa berhenti dengan cepat,” dan gejala lainnya yang sebelumnya telah dimasukkan ke dalam basis pengetahuan sistem. Pengguna cukup memilih salah satu gejala yang sesuai dengan kondisi kendaraan yang dirasakan. Setelah gejala dipilih, sistem akan memproses input tersebut menggunakan mekanisme inferensi *Hybrid Fuzzy–Bayesian* untuk menentukan jenis kerusakan rem yang paling mungkin terjadi beserta tingkat probabilitasnya. Tampilan halaman yang sederhana dan fokus pada satu fungsi utama ini dirancang agar memudahkan pengguna, baik mekanik maupun pemilik kendaraan, dalam memulai proses diagnosis secara cepat dan intuitif.

Pengujian Sistem

Pengujian *blackbox* dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fitur pada sistem pakar berjalan sesuai fungsinya tanpa memeriksa kode program secara langsung. Setiap unit fungsi diuji berdasarkan masukan (input) dan keluaran (output) yang dihasilkan. Dari hasil pengujian, seluruh fungsi utama seperti proses login, pengelolaan data gejala, pengelolaan data kerusakan, proses penambahan aturan, pemilihan gejala diagnosis, hingga penampilan hasil diagnosis dapat berjalan dengan benar. Hasil pengujian sistem dengan pendekatan *blackbox* dapat dilihat pada tabel 4 berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Sistem dengan *Blackbox*

Fitur yang Diuji	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
Login Sistem	Input username & password benar	Pengguna berhasil login	Berhasil	Valid
Tambah Gejala	Input nama gejala & kerusakan terkait	Data tersimpan	Tersimpan	Valid
Hapus Gejala	Memilih tombol hapus	Data terhapus	Terhapus	Valid
Tambah Kerusakan	Input nama & deskripsi kerusakan	Data tersimpan	Tersimpan	Valid
Diagnosa	Memilih gejala untuk diagnosis	Sistem menampilkan hasil diagnosis	Berhasil	Valid

Sumber : Hasil Olahan Data Penelitian

Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua fitur berada pada status Valid, yang berarti aplikasi dapat digunakan sesuai fungsi tanpa mengalami error yang signifikan. Selanjutnya dilakukan juga pengujian beta untuk memastikan penerapan sistem berjalan dengan baik sesuai dengan tujuan sistem. Pengguna diminta mencoba sistem secara langsung untuk melakukan

diagnosis berdasarkan gejala yang mereka pilih. Selanjutnya, mereka memberikan umpan balik terhadap aspek kemudahan penggunaan, keakuratan hasil diagnosis, tampilan antarmuka, dan kecepatan sistem. Hasil pengujian beta dapat dilihat pada tabel 5 berikut:

Tabel 5. Hasil pengujian Beta

Aspek Penilaian	Respon Pengguna	Persentase
Kemudahan penggunaan	Mudah digunakan	87%
Kecepatan sistem	Cepat / responsif	90%
Kejelasan tampilan	Baik	82%
Kesesuaian hasil diagnosis	Sesuai / mendekati hasil pakar	85%

Sumber : Hasil Olahan Data Penelitian

Pengujian beta ini menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi kebutuhan pengguna akhir dan sangat memungkinkan untuk diterapkan di bengkel sebagai alat bantu diagnosis awal.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan metode *Hybrid Fuzzy–Bayesian* mampu memberikan peningkatan akurasi dalam proses diagnosis kerusakan rem mobil dibandingkan pendekatan sistem pakar konvensional yang hanya mengandalkan aturan deterministik. Integrasi *fuzzy logic* memungkinkan sistem untuk mengakomodasi ketidakpastian dan subjektivitas gejala yang dilaporkan pengguna, seperti tingkat kelembekan pedal, intensitas bunyi decitan, atau keparahan getaran saat pengereman. Representasi gejala dalam bentuk derajat keanggotaan *fuzzy* terbukti memberikan klasifikasi yang lebih fleksibel dan realistis, karena mampu menangkap nuansa kondisi rem yang tidak dapat dinilai secara biner. Selanjutnya, nilai *fuzzy* yang dihasilkan dikonversi menjadi *likelihood* untuk digunakan dalam mekanisme *Bayesian*, sehingga sistem dapat memperbarui probabilitas setiap jenis kerusakan secara matematis berdasarkan bukti gejala yang diberikan.

Dari hasil pengujian menggunakan 30 data kasus nyata, sistem menunjukkan tingkat akurasi sebesar 83,3% yang menegaskan bahwa kombinasi *fuzzy* dan *Bayesian inference* merupakan pendekatan yang lebih robust dalam menangani gejala kabur dibandingkan pendekatan tunggal. Proses inferensi *Bayesian* membantu memperkuat hasil *fuzzy* dengan memasukkan informasi prior yang berasal dari frekuensi historis terjadinya kerusakan. Hal ini menyebabkan diagnosis yang dihasilkan tidak hanya berdasarkan derajat keanggotaan *fuzzy*, tetapi juga mempertimbangkan kecenderungan kerusakan tertentu berdasarkan pengalaman empiris. Penggabungan kedua pendekatan ini menjadi *novelty* utama penelitian, karena sebagian besar

penelitian sebelumnya hanya menerapkan *fuzzy logic* atau *Bayesian inference* secara terpisah. Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi keduanya menghasilkan model inferensi yang lebih stabil, terutama pada kasus gejala yang tumpang tindih dan sulit dikelompokkan secara deterministik.

Pengujian *blackbox* menunjukkan bahwa seluruh fitur sistem berjalan sesuai kebutuhan, mulai dari pengelolaan gejala dan kerusakan hingga proses diagnosis. Sementara itu, umpan balik pengguna melalui pengujian beta memperlihatkan tingkat kepuasan yang tinggi terhadap kecepatan sistem, kemudahan antarmuka, serta kesesuaian diagnosis dengan hasil pemeriksaan manual. Hal ini memperkuat temuan bahwa sistem tidak hanya berfungsi secara teknis, tetapi juga layak digunakan dalam konteks operasional di bengkel. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan kontribusi metodologis melalui penggunaan *Hybrid Fuzzy–Bayesian*, tetapi juga kontribusi aplikatif melalui pengembangan sistem pakar berbasis web yang praktis, adaptif, dan sesuai kebutuhan pengguna.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode *Hybrid Fuzzy–Bayesian* terbukti efektif dalam meningkatkan akurasi proses diagnosis kerusakan rem mobil. Metode ini berhasil mengatasi kelemahan pendekatan sistem pakar tradisional yang bersifat deterministik, khususnya dalam menangani gejala yang kabur, subjektif, dan sulit dinyatakan secara biner. Melalui fuzzifikasi, sistem mampu mengubah gejala yang bersifat samar menjadi nilai keanggotaan numerik yang lebih representatif, sementara *Bayesian inference* memperkuat proses pengambilan keputusan dengan memanfaatkan probabilitas prior dan *likelihood* untuk menghasilkan probabilitas posterior yang terukur. Integrasi kedua pendekatan ini menjadi *novelty* utama penelitian, dengan menghasilkan model inferensi yang lebih stabil, adaptif, dan mendekati pola penalaran pakar di dunia nyata. Hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa sistem pakar berbasis web ini tidak hanya mampu menghasilkan diagnosis yang konsisten dengan diagnosis pakar pada tingkat akurasi 83,3%, tetapi juga memberikan pengalaman penggunaan yang baik, sebagaimana dibuktikan melalui hasil beta testing. Kinerja sistem yang responsif, antarmuka yang mudah dipahami, serta kemampuan untuk mengelola data gejala dan kerusakan secara dinamis menunjukkan bahwa sistem sudah memenuhi kebutuhan operasional sebagai alat bantu diagnosis awal di bengkel.

Saran

Penelitian ini masih memiliki ruang untuk penyempurnaan yang dapat dijadikan dasar bagi penelitian selanjutnya. Pertama, perlu dilakukan penambahan variasi gejala dan jenis kerusakan rem

untuk memperluas cakupan basis pengetahuan sistem, sehingga diagnosis menjadi lebih komprehensif dan mampu menangani lebih banyak kondisi kerusakan. Kedua, sistem dapat dikembangkan dengan fitur *multigejala simultan* di mana beberapa gejala dapat diproses sekaligus untuk menghasilkan diagnosis yang lebih kompleks dan realistis sesuai kondisi lapangan. Ketiga, integrasi sensor IoT atau perangkat pemantauan rem secara real-time dapat menjadi pengembangan penting untuk menghasilkan input gejala yang lebih objektif dan terukur, terutama pada sistem rem modern

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan penghargaan dan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Rektor Universitas Lamappapoleonro atas dukungan, arahan, dan fasilitas yang diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Penulis meyakini bahwa kelancaran dan keberhasilan penelitian ini tidak terlepas dari komitmen Rektor dalam mendorong pengembangan penelitian dan inovasi di lingkungan kampus

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. Alamsyah and F. Nuraeni, "Rancang Bangun Aplikasi Pakar Untuk Mendiagnosa Kerusakan Pada Mobil Jenis MPV Menggunakan Metode Forward Chaining dan Certainty Factor," *J. Algoritma.*, vol. 22, no. 1, pp. 688–700, 2025, doi: 10.33364/algoritma/v.22-1.1924.
- [2] A. Abdurrois and K. Operasional, "Analisis Faktor Kerusakan Pengereman Pada Truk Mercedes Benz Axor Di PT Surya Lintas Abadi," *J. Penelit. Nusant.*, vol. 1, pp. 1151–1156, 2025.
- [3] I. N. L. Antara, "Analisis Gangguan Sistem Rem Pada Mobil Daihatsu Analysis of Break System Disorders in Daihatsu Xenia and the Way To," *J. Log.*, vol. 18, no. 1, pp. 20–25, 2018.
- [4] I. A. Ferdianto and I. H. Prastawa, "Identifikasi Kerusakan Komponen Kendaraan Roda Empat Dengan Menggunakan Metode Failure Modes and Effects Analysis Pada Pt . Xyz," *Ind. Eng. Online J.*, vol. 12, no. 1, pp. 1–11, 2023.
- [5] S. Aslamayah, "Implementasi Sistem Pakar dengan Model-Based Reasoning Pada Diagnosa Kerusakan Kendaraan Bermotor," *JIMUJurnal Ilm. Multidisipliner*, vol. 2, no. 02, pp. 544–551, 2024, doi: 10.70294/jimu.v2i02.495.
- [6] L. A. Prasetyo, R. A. Sihombing, and I. Himawan, "Sistem Pakar Kerusakan Mobil Mitsubishi Grandis Dengan Metode Best First Search Berbasis Web Pada Roni Motor," *J. Inform. Komputasi*, vol. 19, no. 1, pp. 1–7, 2025, [Online]. Available: <https://journals.inaba.ac.id/index.php/jiki/article/view/403>
- [7] Y. I. NURHASANAH, E. KURNIA, and S. SUTARTI, "Integrasi Logika Fuzzy dengan Teknologi Cerdas: Tinjauan Sistematis atas Peluang, Tantangan, dan Arah Masa Depan," *MIND J.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–17, 2025, doi: 10.26760/mindjournal.v10i1.1-17.
- [8] Supriyadi, A. Mulyanto, and S. Watini, "Sistem Pakar Untuk Mendiagnosis Kerusakan Kendaraan Motor Matic Dengan Metode Forward Chaining Dan Backward Chaining Pada Bengkel Praktek Otomotif Di Smk Ristek Karawang," *J. Inform. SIMANTIK*, vol. 9, no. 2, pp. 16–21, 2024.
- [9] F. Agustini and A. Salim, "Penerapan Metode Forward Chaining Pada Sistem Pakar Deteksi Mutu Tepung Terigu Berbasis Web," *Metik J.*, vol. 6, no. 1, pp. 79–84, 2022, doi: 10.47002/metik.v6i1.285.
- [10] R. Martinho, J. Lopes, D. Jorge, L. C. de Oliveira, C. Henriques, and P. Peças, "IoT Based Automatic Diagnosis for Continuous Improvement," *Sustain.*, vol. 14, no. 15, 2022, doi: 10.3390/su14159687.
- [11] R. Pfaff, M. Enning, and S. Sutter, "A risk-based approach to automatic brake tests for rail freight service: incident analysis and realisation concept," *SN Appl. Sci.*, vol. 4, no. 4, p. 115, 2022, doi: 10.1007/s42452-022-05007-x.
- [12] J. Xu, Y. Sui, T. Yu, R. Ding, T. Dai, and M. Zheng, "A New Fuzzy Bayesian Inference Approach for Risk Assessments," *Symmetry (Basel).*, vol. 16, no. 7, pp. 1–18, 2024, doi: 10.3390/sym16070786.
- [13] Ismail, Nursakti, and Suwandi, "Sistem Pakar Mendiagnosa Penyakit Mata Menggunakan Metode Forward Chaining Pada Rusd Latemmamala Soppeng," *J. RISTER Ris. Sist. Cerdas*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.25126/Rister.
- [14] H. Salem, D. Soria, J. N. Lund, and A. Awwad, "A systematic review of the applications of Expert Systems (ES) and machine learning (ML) in clinical urology," *BMC Med. Inform. Decis. Mak.*, vol. 21, no. 1, p. 223, 2021, doi: 10.1186/s12911-021-01585-9.
- [15] I. Ismail and A. Hidayah, "Implementasi Machine Learning Dengan Metode Regresi Linear Untuk Prediksi Gaji Karyawan Berdasarkan Masa Kerja," *J. RISTER Ris. Sist. Cerdas*, vol. 2, no. 1, pp. 1–7, 2025, doi: 10.25126/Rister.
- [16] F. U. C. Mustofa, A. L. Wibowo, S. Saraswati, and F. R. A. Puteri, "Sistem Pendukung Keputusan Menggunakan Metode Analytical Hierarchy Process (AHP) Untuk Pemilihan E-Wallet," *J. Manaj. Inform. Sist. Inf. dan Teknol. Komput.*, vol. 2, no. 1, pp. 136–142, 2023, doi: 10.70247/jumistik.v2i1.27.
- [17] M. Yazdi and S. Kabir, "Fuzzy evidence theory and Bayesian networks for process systems risk analysis," *Hum. Ecol. Risk Assess. An Int. J.*, vol. 26, no. 1, pp. 57–86, Jan. 2020, doi: 10.1080/10807039.2018.1493679.
- [18] F. Salbough, Y. Mousavi, I. B. Kucukdemiral, A. Fekih, and U. Cali, "Reliability Assessment and Condition Monitoring of Wind Energy Conversion Systems Using Bayesian Networks:

- Recent Advances and Key Insights," *IEEE Access*, vol. 13, pp. 104472–104500, 2025, doi: 10.1109/ACCESS.2025.3579939.
- [19] I. P. Sari, L. Elvitaria, and Izah Yoelanda, "Metode Bayesian Network Untuk Menentukan Probabilitas Indikasi Gangguan Bipolar," *JEKIN - J. Tek. Inform.*, vol. 4, no. 2, pp. 196–208, 2024, doi: 10.58794/jekin.v4i2.717.
- [20] V. Oliva et al., "Highest correlations between emotion regulation strategies and mood symptoms in bipolar disorder: A systematic review and Bayesian network meta-analysis," *Neurosci. Biobehav. Rev.*, vol. 169, p. 105967, 2025, doi: <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2024.105967>.
- [21] M. Yazdi, "A review paper to examine the validity of Bayesian network to build rational consensus in subjective probabilistic failure analysis," *Int. J. Syst. Assur. Eng. Manag.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–18, 2019, doi: 10.1007/s13198-018-00757-7.
- [22] A. Jaelani and R. Akbar, "Perancangan Sistem Pakar Berbasis Web untuk Menentukan Kerusakan Komputer Menggunakan Metode Certainty Factor," *J. Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 1, no. 1, pp. 26–32, 2025, doi: 10.70716/jocsit.v1i1.188.
- [23] R. Malikhah and A. Fadjeri, "Pengembangan Sistem Pakar Dengan Metode Naïve Bayes Untuk Diagnosa Penyakit Burung Puyuh," *J. Teknol. Informasi, Komputer, dan Apl. (JTika)*, vol. 7, no. 1, pp. 70–77, 2025, doi: 10.29303/jtika.v7i1.442.
- [24] M. P. Hernández, M. Montes Rivera, R. P. Hernández, and R. M. Escobar, "Brake Maintenance Diagnostic with Fuzzy-Bayesian Expert System BT - Advances in Computational Intelligence. MICAI 2023 International Workshops," in *Advances in Computational Intelligence*, H. Calvo, L. Martínez-Villaseñor, H. Ponce, R. Zatarain Cabada, M. Montes Rivera, and E. Mezura-Montes, Eds., Cham: Springer Nature Switzerland, 2024, pp. 77–101.
- [25] J. M. Kościelny, M. Bartyś, and A. Szttyber, "Diagnosing with a hybrid fuzzy-Bayesian inference approach," *Eng. Appl. Artif. Intell.*, vol. 104, p. 104345, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.engappai.2021.104345>.
- [26] M. Soleimani, S. Shahbeigi, and M. Nasr Esfahani, "A Bayesian network development methodology for fault analysis; case study of the automotive aftertreatment system," *Mech. Syst. Signal Process.*, vol. 216, p. 111459, 2024, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2024.111459>.