

Sistem Pakar Apparatus Cura: Integrasi Forward-Backward Chaining dan Certainty Factor pada Kerusakan Sepeda Motor

Raymand Tan ¹, Gabriel Steven ², Alvin Del Pero ³, Falentino Takasili ⁴, Kurniawan Hamidi ^{5*}
^{1,2,3,4,5} Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Universal, Batam, Indonesia

*Corresponding author E-mail: kurniawan.hamidi@uvers.ac.id

Article Info

Article history:

Received 23-06-2026

Revised 20-07-2027

Accepted 30-07-2026

Keyword:

Backward chaining, Certainty factor, Expert system, Forward chaining, Motorcycle diagnosis

ABSTRACT

Motorcycles represent the dominant mode of transportation in Indonesia, yet user comprehension of vehicle technical conditions remains inadequate. Limited access to competent mechanical expertise delays fault identification and increases the risk of accelerating damage. Existing expert-system approaches for motorcycle fault diagnosis typically implement only a single inference method and target a single vehicle category, limiting diagnostic robustness and cross-platform generalizability. This study addresses this gap by developing a desktop-based expert system named Apparatus Cura capable of automatically diagnosing engine failures in automatic and manual (bebek) motorcycle types. The system integrates three inference methods: Forward chaining for symptom-to-fault tracing, backward chaining for fault hypothesis verification, and Certainty factor (CF) for quantifying diagnostic confidence. The knowledge base was constructed from 25 symptoms and 26 fault types for automatic motorcycles, and 43 symptoms and 35 fault types for manual motorcycles, formulated in collaboration with experienced mechanics in the form of more than 60 IF-THEN rules. The user interface was developed using the CustomTkinter library in Python. Functional testing across 8 scenarios yielded a 100% success rate. Accuracy evaluation on 30 test cases (15 automatic and 15 manual motorcycles) produced a diagnostic correctness rate of 83.3%. The system successfully integrates all three inference methods within a unified platform, providing probability estimates that closely approximate assessments made by professional mechanics.



Copyright © 2026. This is an open access article under the [CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/) license.

I. PENDAHULUAN

Sepeda motor merupakan kendaraan bermotor yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia sebagai sarana transportasi sehari-hari. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) tahun 2025, jumlah sepeda motor terdaftar di Indonesia telah mencapai lebih dari 168,21 juta unit, menjadikan Indonesia sebagai salah satu negara dengan populasi sepeda motor terbesar di dunia [1]. Pertumbuhan ini didorong oleh faktor keterjangkauan harga, ketersediaan kredit kendaraan bermotor, serta keterbatasan infrastruktur transportasi publik di berbagai daerah [2].

Namun, tingginya pertumbuhan kepemilikan tersebut tidak diikuti oleh peningkatan literasi teknis penggunaannya [2]. Banyak pengguna yang tidak mampu mengidentifikasi penyebab kerusakan saat kendaraan bermasalah, sehingga seluruh proses diagnosis diserahkan kepada mekanik bengkel. Keterbatasan pemahaman mekanis menyebabkan tingginya ketergantungan konsumen terhadap pihak bengkel. Akibatnya, pemilik kendaraan cenderung menyerahkan perbaikan secara pasif tanpa mampu melakukan deteksi dini terhadap gejala awal kerusakan kendaraannya [3].

Ketergantungan ini diperparah oleh ketimpangan ketersediaan tenaga mekanik yang kompeten. Banyak bengkel sepeda motor terutama di daerah terpencil

menghadapi kesulitan dalam mengikuti perkembangan teknologi terbaru kendaraan, sehingga apabila ada kerusakan pada kendaraan keluaran baru, mekanik konvensional lebih memilih untuk menolak pengerjaan karena latar belakang pendidikan teknis mereka yang terbatas. Kondisi ini semakin kritis seiring meluasnya penggunaan motor injeksi, di mana bengkel konvensional tidak memiliki alat pemeriksaan kerusakan seperti yang dimiliki bengkel resmi, sehingga perlahan kehilangan kemampuan melayani kendaraan modern [4], [5].

Kendala mekanis tersebut menunjukkan urgensi pengembangan sistem yang mampu membantu pengguna mengidentifikasi kemungkinan kerusakan secara mandiri berdasarkan gejala yang mereka amati. Sistem pakar yang mampu menganalisis gejala kerusakan dan memberikan solusi diagnosis awal terbukti dapat membantu pengguna mengetahui kondisi kendaraannya sebelum membawa ke bengkel, sekaligus membantu mekanik dalam menangani permasalahan dengan lebih efisien [6].

Sistem pakar (*expert system*) merupakan cabang kecerdasan buatan yang dirancang untuk mereplikasi kemampuan penalaran seorang pakar dalam domain tertentu dengan mengandalkan basis pengetahuan dan mesin inferensi [7]. Dalam konteks diagnosis teknis, sistem pakar telah terbukti mampu menyediakan layanan konsultasi otomatis yang cepat, konsisten, dan dapat diakses kapan saja. Dua strategi penalaran yang umum adalah *forward chaining* yang bergerak maju dari premis (gejala) menuju konklusi, serta *backward chaining* yang bergerak mundur dari hipotesis untuk verifikasi. Beberapa penelitian terdahulu telah mengeksplorasi penerapan sistem pakar dalam domain kendaraan bermotor. Penelitian [8], [9], [10] mengembangkan sistem pakar diagnosis kerusakan motor berbasis web menggunakan *forward chaining*. Lalu, riset oleh [10], [11], [12] menerapkan metode *certainty factor* untuk diagnosis kerusakan sistem kelistrikan sepeda motor. Namun, berdasarkan penelitian-penelitian tersebut hanya menerapkan satu dan/atau dua metode inferensi tanpa mengintegrasikan verifikasi hipotesis melalui *backward chaining*.

Penelitian ini mengusulkan sistem pakar terintegrasi bernama Apparatus Cura yang menggabungkan *forward chaining*, *backward chaining*, dan *certainty factor* dalam satu platform dekstop berbasis Python. Kontribusi utama penelitian ini adalah: (1) integrasi tiga metode inferensi secara simultan untuk meningkatkan keandalan diagnosis; (2) pembangunan basis pengetahuan yang komprehensif meliputi dua kategori kendaraan (motor matic dan motor bebek); dan (3) pengembangan antarmuka pengguna grafis yang intuitif menggunakan CustomTkinter. Tujuan penelitian adalah menghasilkan sistem pakar berbasis desktop yang mampu memberikan diagnosis kerusakan mesin sepeda motor secara akurat, cepat, dan mudah digunakan oleh pengguna awam.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design Science Research (DSR)* yang berfokus pada perancangan,

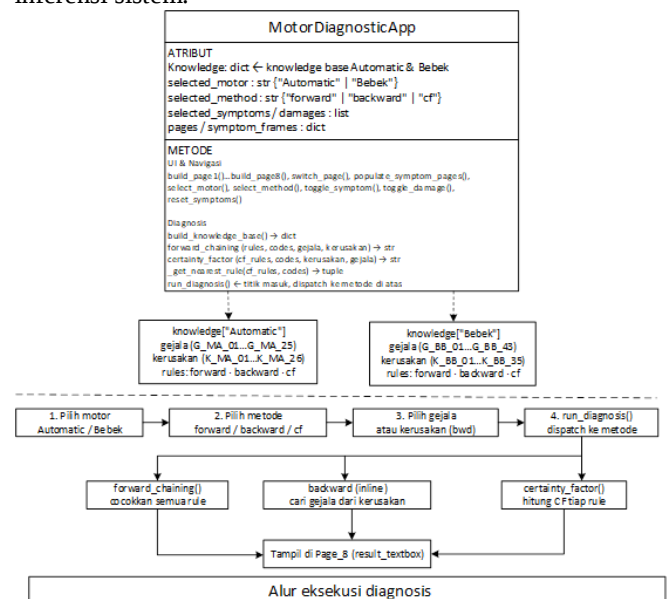
pembangunan, dan evaluasi artefak sistem informasi [13]. Tahapan penelitian meliputi: (1) identifikasi masalah dan kajian literatur; (2) akuisisi pengetahuan dari pakar; (3) perancangan basis pengetahuan dan aturan inferensi; (4) implementasi sistem; (5) pengujian fungsional; dan (6) evaluasi akurasi.

2.1. Knowledge Acquisition

Tahap pengambilan pengetahuan (*knowledge acquisition*) dari pakar dilakukan melalui wawancara terstruktur bersama dua orang mekanik senior yang memiliki pengalaman kerja lebih dari 10 tahun di bidang perawatan sepeda motor. Informasi yang dihimpun meliputi identifikasi gejala kerusakan yang dapat diamati pengguna, korelasi antar jenis kerusakan, serta pembobotan nilai keyakinan (*certainty factor*). Seluruh data pengetahuan tersebut kemudian divalidasi kembali oleh pakar sebelum diintegrasikan.

2.2. Arsitektur Sistem

Aplikasi Apparatus Cura dirancang menggunakan paradigma pemrograman berorientasi objek (Object-Oriented Programming/OOP) dengan memisahkan arsitektur sistem komponen sistem ke dalam tiga komponen modular utama. Pertama, *Motor Knowledge Base* bertindak sebagai repositori sentral basis pengetahuan yang mengelola seluruh data manifestasi gejala, entitas kerusakan, serta himpunan aturan implikasi (IF-THEN rules). *Diagnosis Engine* berfungsi sebagai mesin inferensi inti yang mengintegrasikan alur penalaran maju (*forward chaining*), verifikasi hipotesis (*backward chaining*), dan kalkulasi ketidakpastian melalui metode *certainty factor*. Ketiga, *Motor Diagnostic App* menjadi perantara lapisan antarmuka pengguna grafis (Graphical User Interface/GUI) berbasis CustomTkinter yang menjembatani interaksi antara pengguna awam dengan mesin inferensi sistem.



Gambar 1. Diagram kelas UML sistem Apparatus cura

Kelas	Fungsi	Method Utama
MotorKnowledgeBase	Penyimpanan basis pengetahuan	get_gejala(), get_kerusakan(), get_rules()
DiagnosisEngine	Mesin inferensi	forward_chaining(), backward_chaining(), certainty_factor()
MotorDiagnosticApp	Antarmuka pengguna grafis	build_page(), toggle_symptom(), run_diagnosis()

2.3. Basis Knowledge

Basis pengetahuan aplikasi Apparatus Cura dibagi menjadi dua domain sesuai jenis kendaraan. Motor matic memiliki 25 kode gejala (G_MA_01 s.d. G_MA_25) dan 26 kode kerusakan (K_MA_01 s.d. K_MA_26), serta 60 aturan forward chaining. Motor bebek memiliki 43 kode gejala (G_BB_01 s.d. G_BB_43) dan 35 kode kerusakan (K_BB_01 s.d. K_BB_35), serta 54 aturan forward chaining. Setiap aturan direpresentasikan dalam format IF [*gejala*₁ $\wedge$ *gejala*₂ $\wedge$... $\wedge$ *gejala*_n] THEN [*kerusakan*_k]. Tabel 2 menyajikan statistik basis pengetahuan secara ringkas.

Tabel 2. Gejala dan Kerusakan Motor Matic

Gejala	Kerusakan
"G_MA_01": "Motor tidak kuat menahan",	"K_MA_01": "Selang vakum bocor",
"G_MA_02": "Tenaga terasa berkurang",	"K_MA_02": "Karburator kebanjiran",
"G_MA_03": "Tidak bisa atau sulit distarter",	"K_MA_03": "Seher dan klep aus",
"G_MA_04": "Motor sering mati mendadak",	"K_MA_04": "Filter udara kotor",
"G_MA_05": "Akselerasi berat",	"K_MA_05": "Busi rusak",
"G_MA_06": "Putaran mesin terasa berat",	"K_MA_06": "Van belt aus",
"G_MA_07": "Bensin boros",	"K_MA_07": "Piston & blok silinder aus",
"G_MA_08": "Asap knalpot hitam",	"K_MA_08": "Fuel Pump rusak",
"G_MA_09": "Suara berisik di rumah CVT",	"K_MA_09": "Injektor bermasalah",
"G_MA_10": "Asap putih tebal terus-menerus",	"K_MA_10": "EOT sensor rusak",
"G_MA_11": "Oli cepat habis",	"K_MA_11": "Throttle Position sensor rusak",
"G_MA_12": "Mesin tidak bisa hidup",	"K_MA_12": "CKP sensor rusak",
"G_MA_13": "Pompa bahan bakar tidak menyala",	"K_MA_13": "Injektor kotor",
"G_MA_14": "Lampu indikator injeksi menyala kode 12",	"K_MA_14": "Filter udara tersumbat",
"G_MA_15": "Susah dihidup pada suhu rendah",	"K_MA_15": "Sensor suhu mesin rusak",
"G_MA_16": "Mesin cepat panas",	"K_MA_16": "Busi lemah atau rusak",
"G_MA_17": "Lampu indikator injeksi kode 7",	"K_MA_17": "ECU mengalami gangguan",
"G_MA_18": "Lampu indikator injeksi kode 8",	"K_MA_18": "Penggunaan Jenis Oli Salah",
"G_MA_19": "Kecepatan berkurang",	"K_MA_19": "Regulator (Kiprok) Bermasalah",
"G_MA_20": "Lampu indikator injeksi kode 52",	"K_MA_20": "Penggunaan Jenis Bensin Salah",
	"K_MA_21": "Aki bermasalah",
	"K_MA_22": "Klep bocor",
	"K_MA_23": "Ring Piston",
	"K_MA_24": "Tidak ganti Oli",
	"K_MA_25": "Dinamo Mesin",

"G_MA_21": "Mesin susah hidup saat pagi hari",
 "G_MA_22": "Tarikan mesin terasa berat",
 "G_MA_23": "Lampu indikator injeksi menyala (kode umum)",
 "G_MA_24": "Mesin tersendat saat di kecepatan tinggi",
 "G_MA_25": "Asap putih dari knalpot terus menerus"

Potongan Program Knowledge Base Apparatus Cura Motor Matic

```

matic_forward = [
  {"if": ["G_MA_05", "G_MA_06"], "then": "K_MA_04"},
  {"if": ["G_MA_03", "G_MA_07", "G_MA_08"], "then": "K_MA_05"},
  {"if": ["G_MA_04", "G_MA_10", "G_MA_11"], "then": "K_MA_07"},
  {"if": ["G_MA_09"], "then": "K_MA_06"},
  {"if": ["G_MA_12", "G_MA_13", "G_MA_14"], "then": "K_MA_08"},
  {"if": ["G_MA_21", "G_MA_23"], "then": "K_MA_13"},
  {"if": ["G_MA_22", "G_MA_25"], "then": "K_MA_14"},
  {"if": ["G_MA_23", "G_MA_24"], "then": "K_MA_17"},
  {"if": ["G_MA_21", "G_MA_24"], "then": "K_MA_16"},
  {"if": ["G_MA_23"], "then": "K_MA_15"},
  {"if": ["G_MA_25"], "then": "K_MA_14"},
  {"if": ["G_MA_24"], "then": "K_MA_16"},
  {"if": ["G_MA_22", "G_MA_24"], "then": "K_MA_16"},
  {"if": ["G_MA_21", "G_MA_22", "G_MA_23", "G_MA_24"], "then": "K_MA_17"},
  {"if": ["G_MA_01", "G_MA_02"], "then": "K_MA_06"},
  {"if": ["G_MA_01", "G_MA_19"], "then": "K_MA_07"},
  {"if": ["G_MA_03", "G_MA_12"], "then": "K_MA_05"},
  {"if": ["G_MA_03", "G_MA_15"], "then": "K_MA_16"},
  {"if": ["G_MA_04", "G_MA_24"], "then": "K_MA_01"},
  {"if": ["G_MA_05", "G_MA_22"], "then": "K_MA_06"},
  {"if": ["G_MA_07", "G_MA_08"], "then": "K_MA_13"},
  {"if": ["G_MA_07", "G_MA_11"], "then": "K_MA_02"},
  {"if": ["G_MA_10", "G_MA_25"], "then": "K_MA_07"},
  {"if": ["G_MA_10", "G_MA_11"], "then": "K_MA_03"},
  {"if": ["G_MA_12", "G_MA_13"], "then": "K_MA_08"},
  {"if": ["G_MA_14"], "then": "K_MA_12"}
]

```

Tabel 3. Gejala dan Kerusakan Motor Bebek

Gejala	Kerusakan
"G_BB_01": "Motor susah dihidupkan",	"K_BB_01": "CDI unit rusak",
"G_BB_02": "Tenaga lemah",	"K_BB_02": "Kumparan pembangkit rusak",
"G_BB_03": "Mesin cepat panas",	"K_BB_03": "Pulser rusak",
"G_BB_04": "Busi mudah mati",	"K_BB_04": "Coil pengapian rusak",
"G_BB_05": "Asap putih",	"K_BB_05": "Busi bermasalah",
"G_BB_06": "Suara kasar",	"K_BB_06": "Aki lemah/rusak",
"G_BB_07": "Oli cepat habis",	"K_BB_07": "Karburator kotor",
"G_BB_08": "Mesin tersendat",	"K_BB_08": "Klep/katup bermasalah",
"G_BB_09": "Percikan busi merah",	
"G_BB_10": "Stasioner tidak stabil",	
"G_BB_11": "Asap	

hitam", "G_BB_12": "Bahan bakar boros",	"K_BB_09": "Rantai keteng bermasalah",
"G_BB_13": "Lampu speedometer mati", "G_BB_14": "Lampu gigi mati", "G_BB_15": "Sensor bensin mati",	"K_BB_10": "Piston bermasalah",
"G_BB_16": "Jarum speedometer mati", "G_BB_17": "Suara gemeretak pada rantai",	"K_BB_11": "Speedometer rusak",
"G_BB_18": "Suara kasar saat masuk gigi", "G_BB_19": "Susah memasukkan gigi",	"K_BB_12": "Rotary transmisi rusak",
"G_BB_20": "Tidak ada bunyi starter",	"K_BB_13": "Starter elektrik rusak",
"G_BB_21": "Bunyi selip starter",	"K_BB_14": "Kampas Kopling aus",
"G_BB_22": "Suara kasar pada dinamo starter",	"K_BB_15": "Filter udara bermasalah",
"G_BB_23": "Dinamo starter panas",	"K_BB_16": "O2 sensor rusak",
"G_BB_24": "Tidak ada tekanan kopling",	"K_BB_17": "Pilot jet & main jet bermasalah",
"G_BB_25": "Hentakan saat pindah gigi",	"K_BB_18": "Tali gas korosif",
"G_BB_26": "Sering los saat masuk gigi",	"K_BB_19": "Kerusakan piston (4-tak)",
"G_BB_27": "Tarikan gas tidak responsif",	"K_BB_20": "Kerusakan pada piston",
"G_BB_28": "Lampu injeksi kode 12",	"K_BB_21": "Kerusakan pada digital CDI",
"G_BB_29": "Letupan knalpot",	"K_BB_22": "Kerusakan pada klep (katup)",
"G_BB_30": "Lampu injeksi kode 21",	"K_BB_23": "Kerusakan pada elektrik starter",
"G_BB_31": "Kabel CDI tidak ada arus",	"K_BB_24": "Kerusakan pada rantai mesin",
"G_BB_32": "Kabel koil tidak ada arus",	"K_BB_25": "Kerusakan pada rem kopling",
"G_BB_33": "Keluar asap putih pada knalpot (non matic)",	"K_BB_26": "Dinamo Mesin bermasalah",
"G_BB_34": "Suara kasar pada dinamo starter (non matic)",	"K_BB_27": "Kabel Listrik bermasalah",
"G_BB_35": "Percikan busi berwarna merah kecil (non matic)",	"K_BB_28": "Radiator bermasalah",
"G_BB_36": "Keluar asap hitam pada knalpot (non matic)",	"K_BB_29": "Pompa Radiator bermasalah",
"G_BB_37": "Mesin tidak stasioner (gas kadang kecil & besar)",	"K_BB_30": "Salah memilih Oli",
"G_BB_38": "Dinamo starter panas (non matic)",	"K_BB_31": "Gasket/Packing bermasalah",
"G_BB_39": "Dihidupkan elektrik starter, tidak ada bunyi",	"K_BB_32": "O Ring bermasalah",
"G_BB_40": "Suara gemeretak pada rantai saat suhu dingin",	"K_BB_33": "Bocor oli pada mesin",
"G_BB_41": "Sering los ketika memasukkan gigi transmisi",	"K_BB_34": "Mesin masuk air",
"G_BB_42": "Terjadi hentakan pada saat pemindahan gigi",	"K_BB_35": "Sistem listrik tidak stabil"
"G_BB_43": "Los saat pemindahan gigi"	

Potongan Program Knowledge Base Apparatus Cura Motor Bebek

```
bebek_forward = [
    {"if":
        ["G_BB_01", "G_BB_02", "G_BB_03", "G_BB_04", "G_BB_05", "G_BB_06", "G_BB_07"], "then":
            "K_BB_08"}],
```

```
    {"if":
        ["G_BB_01", "G_BB_02", "G_BB_03", "G_BB_04"],
        "then": "K_BB_05"},
    {"if": ["G_BB_08", "G_BB_12"], "then":
        "K_BB_07"},
    {"if":
        ["G_BB_13", "G_BB_14", "G_BB_15", "G_BB_16"],
        "then": "K_BB_11"},
    {"if": ["G_BB_08", "G_BB_18", "G_BB_19"],
        "then": "K_BB_12"},
    {"if": ["G_BB_20"], "then": "K_BB_13"},
    {"if":
        ["G_BB_24", "G_BB_02", "G_BB_03", "G_BB_25", "G_BB_26"],
        "then": "K_BB_14"},
    {"if":
        ["G_BB_01", "G_BB_10", "G_BB_11", "G_BB_12", "G_BB_07"],
        "then": "K_BB_08"},
    {"if": ["G_BB_33", "G_BB_03", "G_BB_34",
        "G_BB_02", "G_BB_04"], "then": "K_BB_20"},
    {"if": ["G_BB_08", "G_BB_04", "G_BB_35"],
        "then": "K_BB_21"},
    {"if": ["G_BB_12", "G_BB_36", "G_BB_37"],
        "then": "K_BB_22"},
    {"if": ["G_BB_38", "G_BB_39", "G_BB_34"],
        "then": "K_BB_23"},
    {"if": ["G_BB_08", "G_BB_40"], "then":
        "K_BB_24"},
    {"if": ["G_BB_41", "G_BB_42", "G_BB_43"],
        "then": "K_BB_25"},
    {"if": ["G_BB_01", "G_BB_09", "G_BB_31"],
        "then": "K_BB_01"},
    {"if": ["G_BB_01", "G_BB_31", "G_BB_32"],
        "then": "K_BB_02"},
    {"if": ["G_BB_01", "G_BB_08", "G_BB_10"],
        "then": "K_BB_03"},
    {"if": ["G_BB_01", "G_BB_32"], "then":
        "K_BB_04"},
    {"if": ["G_BB_04", "G_BB_09"], "then":
        "K_BB_05"},
    {"if": ["G_BB_20", "G_BB_39"], "then":
        "K_BB_06"},
    {"if": ["G_BB_10", "G_BB_11", "G_BB_12"],
        "then": "K_BB_07"},
    {"if": ["G_BB_02", "G_BB_06", "G_BB_08"],
        "then": "K_BB_08"},
    {"if": ["G_BB_06", "G_BB_17", "G_BB_40"],
        "then": "K_BB_09"},
    {"if": ["G_BB_02", "G_BB_05", "G_BB_07"],
        "then": "K_BB_10"},
    {"if": ["G_BB_13", "G_BB_14", "G_BB_15",
        "G_BB_16"], "then": "K_BB_11"},
    {"if": ["G_BB_19", "G_BB_26", "G_BB_41"],
        "then": "K_BB_12"},
    {"if": ["G_BB_20", "G_BB_21", "G_BB_22",
        "G_BB_23"], "then": "K_BB_13"},
    {"if": ["G_BB_24", "G_BB_13", "G_BB_25",
        "G_BB_42"], "then": "K_BB_14"},
    {"if": ["G_BB_02", "G_BB_27"], "then":
        "K_BB_15"},
    {"if": ["G_BB_30"], "then": "K_BB_16"},
    {"if": ["G_BB_11", "G_BB_12", "G_BB_36"],
        "then": "K_BB_17"},
    {"if": ["G_BB_27"], "then": "K_BB_18"},
    {"if": ["G_BB_05", "G_BB_07", "G_BB_33"],
        "then": "K_BB_19"},
    {"if": ["G_BB_02", "G_BB_05", "G_BB_33"],
        "then": "K_BB_20"},
    {"if": ["G_BB_28", "G_BB_31"], "then":
        "K_BB_21"},
    {"if": ["G_BB_06", "G_BB_08", "G_BB_37"],
        "then": "K_BB_22"},
    {"if": ["G_BB_22", "G_BB_23", "G_BB_34",
        "G_BB_38"], "then": "K_BB_23"},
```

Tabel 4. Statistik Basis Pengetahuan APPARATUS CURA

Komponen	Motor Matic	Motor Bebek
Jumlah gejala	25	43
Jumlah jenis kerusakan	26	35

Jumlah aturan IF-THEN	60	54
Rentang nilai CF	0.91-0.99	0.60-0.998

2.4. Mekanisme Inferensi Terintegrasi

Ketiga metode inferensi dijalankan secara berurutan untuk setiap sesi diagnosis. *Forward chaining* memproses himpunan gejala yang dipilih pengguna (G_user) dan mengeluarkan daftar kerusakan kandidat (K_kandidat) berdasarkan pencocokan aturan. *Backward chaining* kemudian memverifikasi setiap K_kandidat dengan menelusuri apakah gejala-gejala yang mendukungnya konsisten dengan G_user. Terakhir, *certainty factor* menghitung tingkat keyakinan CF_final untuk setiap kerusakan yang terverifikasi menggunakan persamaan kombinasi serial. Hanya kerusakan dengan CF_final $\geq 0,50$ yang ditampilkan kepada pengguna.

Potongan Program diagnosisEngine Apparatus Cura

```
def run_diagnosis(self):
    if self.selected_method == "backward":
        if not self.selected_damages:
            result = "Tidak ada kerusakan yang
dipilih. Silakan pilih kerusakan terlebih dahulu."
        else:
            motor_data =
self.knowledge[self.selected_motor]
            rules = motor_data["backward"]
            result = "Hasil Diagnosis Backward
chaining:\n\n"
            for damage_code, damage_name in
self.selected_damages:
                result += f"Kerusakan:
{damage_name}\n"
                gejala_terkait = set()
                for rule in rules:
                    if rule["then"] == damage_code:
gejala_terkait.update(rule["if"])
                if gejala_terkait:
                    result += "Gejala yang biasanya
menyertai:\n"
                    for g in gejala_terkait:
                        nama_gejala =
motor_data["gejala"].get(g, g)
                        result += f"-
{nama_gejala}\n"
                else:
                    result += "(Tidak ada gejala
spesifik dalam basis pengetahuan)\n"
                    result += "\n"
            elif self.selected_method == "forward":
                if not self.selected_symptoms:
                    result = "Tidak ada gejala yang
dipilih. Silakan pilih gejala terlebih dahulu."
                else:
                    selected_codes = [s[0] for s in
self.selected_symptoms]
                    motor_data =
self.knowledge[self.selected_motor]
                    result = self.forward_chaining(
motor_data["forward"],
selected_codes,
motor_data["gejala"],
motor_data["kerusakan"])
            else: # certainty factor (cf)
                if not self.selected_symptoms:
                    result = "Tidak ada gejala yang
dipilih. Silakan pilih gejala terlebih dahulu."
                else:
                    selected_codes = [s[0] for s in
self.selected_symptoms]
                    motor_data =
self.knowledge[self.selected_motor]
                    cf_rules = motor_data.get("cf", [])
                    if not cf_rules:
                        result = "Data Certainty factor
tidak tersedia untuk motor ini."
                    else:
```

```
result =
self.certainty_factor(cf_rules, selected_codes,
motor_data["kerusakan"], motor_data["gejala"])
```

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

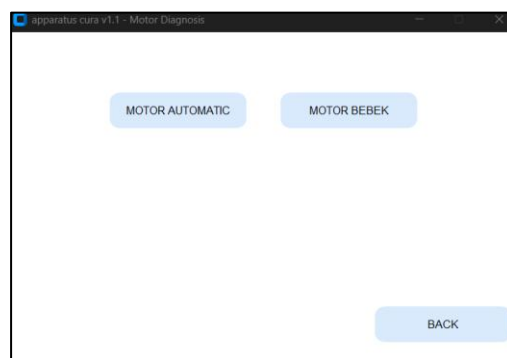
3.1. Implementasi Interface

Apparatus Cura v1.1 diimplementasikan menggunakan Python 3.11 dengan library CustomTkinter 5.2.0 sebagai *framework* grafis antarmuka. Pemilihan CustomTkinter didasarkan pada kemampuannya menghasilkan tampilan modern berbasis widget Tkinter yang responsif tanpa ketergantungan pada server web, sehingga sesuai untuk *deployment* aplikasi desktop mandiri [14], [15].

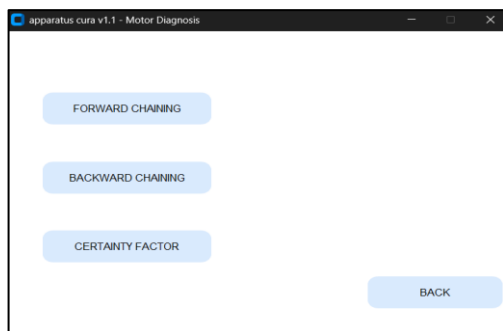
Aplikasi terdiri atas lima halaman yang saling terhubung secara sekuensial: (1) Halaman Home, menampilkan identitas sistem dan opsi memulai atau keluar; (2) Halaman Pemilihan Jenis Motor, di mana pengguna memilih antara motor matic atau motor bebek; (3) Halaman Pemilihan Metode Inferensi, untuk memilih forward chaining, backward chaining, atau certainty factor; (4) Halaman Pemilihan Gejala, menampilkan daftar gejala dalam bentuk tombol interaktif yang dapat dipilih atau dibatalkan; dan (5) Halaman Hasil Diagnosis, menampilkan kerusakan yang terdeteksi beserta persentase keyakinannya. Arsitektur pada gambar 2 hingga gambar 6 digunakan untuk memastikan alur interaksi pengguna bersifat linier dan tidak ambigu, meminimalkan beban kognitif bagi pengguna awam sesuai prinsip desain antarmuka yang intuitif.



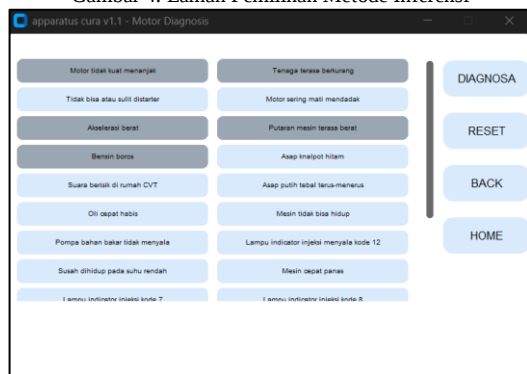
Gambar 2. Laman Home



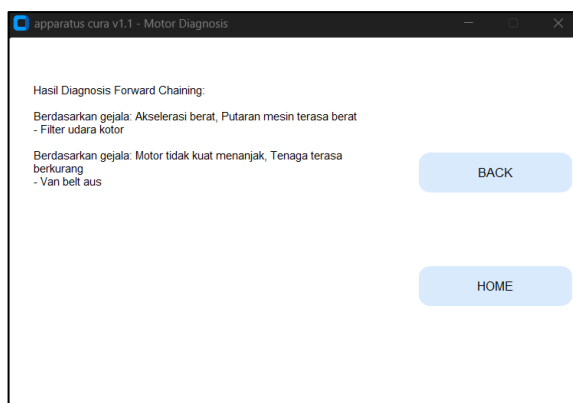
Gambar 3. Laman Pemilihan Jenis Motor



Gambar 4. Laman Pemilihan Metode Inferensi



Gambar 5. Laman Pemilihan Gejala



Gambar 6. Laman Output Diagnosis

3.2. Pengujian Fungsional

Pengujian fungsional dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing* terhadap 8 skenario kritis yang mencakup seluruh fitur utama sistem. *Black Box Testing* dipilih karena metode ini memvalidasi perilaku sistem sepenuhnya dari perspektif pengguna akhir tanpa memerlukan akses atau pengetahuan terhadap struktur internal kode program, sehingga relevan untuk mengevaluasi kesesuaian sistem dengan kebutuhan fungsional yang telah dirancang. Pendekatan ini selaras dengan praktik pengujian sistem pakar yang umum diterapkan dalam penelitian terkait, sebagaimana digunakan oleh [10] dalam pengujian sistem pakar kerusakan Honda Beat berbasis *forward chaining* dan *certainty factor*, di mana *black box testing* berhasil memvalidasi seluruh fungsi sistem secara komprehensif. Seluruh 8 skenario uji

menunjukkan hasil yang sesuai dengan ekspektasi, menghasilkan tingkat keberhasilan fungsional sebesar 100%.

Tabel 5. Hasil Pengujian Fungsional *Black Box Testing*

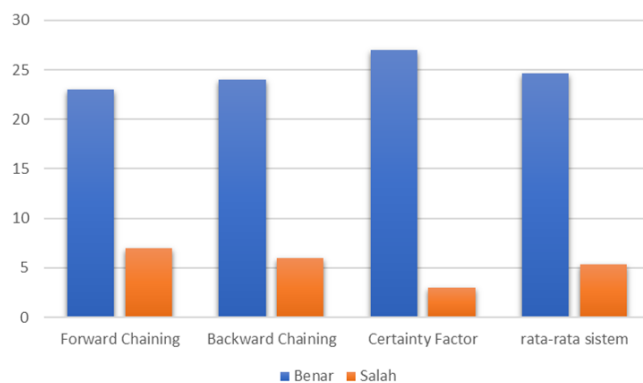
Skenario pengujian	Input	Hasil yang diharapkan	Status
Diagnosis dengan gejala terpilih	Gejala dipilih dan klik Diagnosa	Hasil diagnosis sesuai metode inferensi muncul	Berhasil
Reset pemilihan gejala	Klik tombol Reset	Semua pilihan gejala dihapus	
Navigasi ke halaman sebelumnya	Klik tombol Back	Halaman sebelumnya ditampilkan	
Kembali ke halaman utama	Klik tombol Home	Halaman Home ditampilkan	
Diagnosis tanpa memilih gejala	Klik Diagnosa tanpa pilih gejala	Pesan peringatan muncul	
Pemilihan semua gejala	Semua gejala dipilih dan klik Diagnosa	Semua kerusakan relevan ditampilkan	
Memulai aplikasi	Klik tombol Start	Halaman pemilihan motor muncul	
Menutup aplikasi	Klik tombol Exit	Program ditutup	

3.3. Evaluasi Akurasi Diagnosis

Evaluasi akurasi dilakukan dengan membandingkan hasil diagnosis sistem terhadap diagnosis aktual yang diberikan oleh mekanik berpengalaman pada 30 kasus uji. Kasus uji diambil dari rekaman kunjungan bengkel yang telah diverifikasi oleh mekanik pakar. Sistem dinyatakan benar apabila kerusakan utama yang didiagnosis sistem sesuai dengan kerusakan aktual yang dikonfirmasi oleh mekanik.

Tabel 6. Hasil Pengujian Fungsional *Black Box Testing*

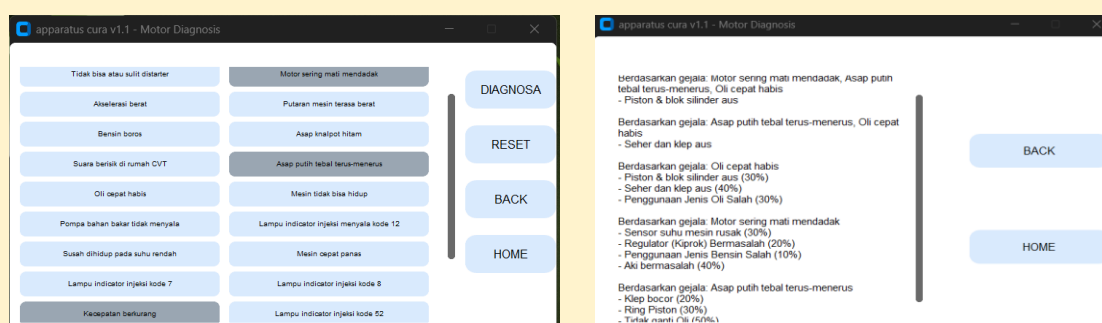
Metode Inferensi	Akurasi (%)
<i>Forward chaining</i>	76,7
<i>Backward chaining</i>	80,0
<i>Certainty factor</i>	90,0
Rerata sistem	83,3



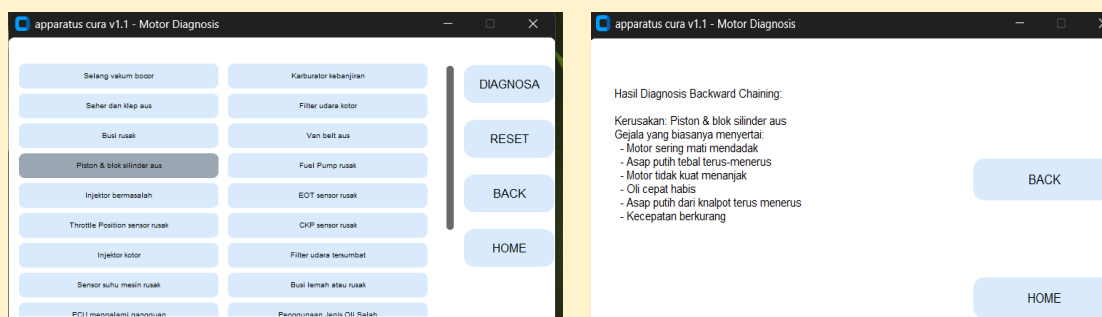
Gambar 7. Diagram batang perbandingan akurasi antar metode Inferensi

Hasil evaluasi menunjukkan akurasi rata-rata sistem sebesar 83,3% (Tabel 6). *Certainty factor* menunjukkan performa terbaik dengan akurasi 90,0%, diikuti oleh *backward chaining* (80,0%) dan *forward chaining* (76,7%). Keunggulan CF disebabkan oleh kemampuannya mengkuantifikasi derajat kepercayaan hubungan gejala-kerusakan secara numerik, sehingga kasus dengan gejala yang ambigu atau tumpang tindih dapat diatasi dengan lebih baik. Temuan ini konsisten dengan hasil penelitian [10] yang melaporkan akurasi 90% pada sistem pakar kerusakan motor Honda Beat menggunakan kombinasi *forward chaining* dan *certainty factor* untuk 10 kasus uji, dan sejalan dengan penelitian [11] yang menggunakan metode *Certainty factor* untuk menganalisis dan mendiagnosa kerusakan pada sepeda motor dan menyimpulkan bahwa CF efektif menangani ketidakpastian dalam identifikasi gejala.

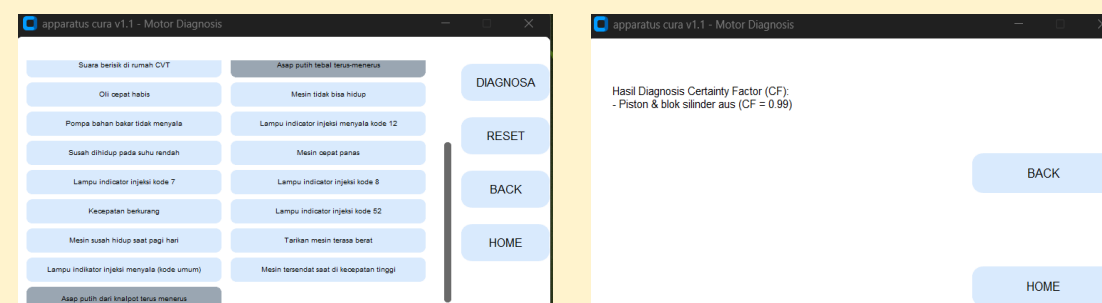
Forward chaining cenderung menghasilkan *false positive* ketika pengguna memilih gejala yang tumpang tindih antara beberapa kerusakan, karena metode ini menelusuri semua aturan yang premisnya terpenuhi tanpa mempertimbangkan bobot kepercayaan [16]. *Backward chaining* lebih selektif karena memulai dari hipotesis kerusakan dan memverifikasi ke gejala pendukung, namun efektivitasnya bergantung pada ketepatan hipotesis awal yang diajukan. Kombinasi ketiganya dalam satu *platform* terbukti saling melengkapi. *Forward chaining* menghasilkan kandidat kerusakan yang luas, *backward chaining* memfilter kandidat yang tidak konsisten dengan gejala yang diamati, dan *certainty factor* memberikan peringkat probabilistik akhir yang memandu keputusan pengguna.



Gambar 8. Diagnosa *Forward chaining* Case K_MA_07



Gambar 9. Diagnosa *Backward chaining* Case K_MA_07



Gambar 10. Diagnosa *Certainty factor* Case K_MA_07

3.4. Studi Kasus

Sebagai bentuk representasi hasil diagnosis, berikut disajikan data kerusakan di lapangan pada motor matic dengan gejala antara lain motor sering mati mendadak (G_MA_04), kecepatan berkurang (G_MA_19), dan asap putih tebal terus-menerus (G_MA_25).

Forward chaining mencocokkan kombinasi {G_MA_04, G_MA_10, G_MA_11} then K_MA_07 (Piston & blok silinder aus) dan menghasilkan kerusakan kandidat tersebut beserta rekomendasi kerusakan lain berbasis gejala individual. *Backward chaining* memverifikasi bahwa K_MA_07 (Piston & blok silinder aus) dengan menelusuri gejala-gejala yang mendukungnya, yaitu G_MA_10, G_MA_25, dan G_MA_01, di mana G_MA_25 terkonfirmasi dari input pengguna, sehingga hipotesis K_MA_07 terverifikasi secara parsial dengan bukti yang cukup untuk dipertimbangkan lebih lanjut. *Certainty factor* menghitung nilai keyakinan akhir menggunakan formula kombinasi serial.

$$CF(K_MA_07) = CF(G_MA_10, 0.9) \oplus CF(G_MA_25, 0.8) \\ \oplus CF(G_MA_01, 0.6) = 0.992$$

Hasil pada gambar 8 hingga gambar 10 mengonfirmasi bahwa piston dan blok silinder aus (K_MA_07) merupakan kerusakan utama yang paling mungkin terjadi dengan tingkat keyakinan 99,2% pada kasus motor yang diuji.

3.5. Analisis Komparatif dan Evaluasi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata akurasi diagnosis aplikasi Apparatus Cura mencapai 83,3%. Nilai efisiensi performa secara umum menunjukkan hasil lebih baik dibandingkan dengan sistem sejenis yang hanya menerapkan metode inferensi tunggal. Sebagai perbandingan, sistem pakar kerusakan motor matic berbasis *forward chaining* yang dikembangkan [17] melaporkan akurasi 80%. Sementara itu, sistem berbasis *certainty factor* untuk identifikasi kerusakan sepeda motor injeksi hasil pengembangan [18] memperoleh akurasi 73,3%. Di sisi lain, penelitian [10] mengombinasikan *forward chaining* dan *certainty factor* tanpa melibatkan *backward chaining*, melalui pengujian 10 kasus uji, variasi gabungan metode dua arah mampu menyentuh akurasi tertinggi sebesar 90%. Kontribusi diferensiasi penelitian ini terletak pada tiga aspek, yaitu: pertama, integrasi tiga metode inferensi secara simultan yang memberikan mekanisme *check and balance* antarmetode; kedua, cakupan dua kategori kendaraan (motor matic dan bebek) dalam satu platform; dan ketiga, basis pengetahuan yang lebih luas dengan total 114 aturan IF-THEN yang mencakup 61 jenis kerusakan lintas kategori. Penelitian [19] yang mengombinasikan *backward chaining* dan *certainty factor* pada domain kesehatan melaporkan akurasi 75%, sehingga mengonfirmasi bahwa penambahan *forward chaining* pada sistem ini memberikan kontribusi positif terhadap peningkatan akurasi.

Tabel 7. Komparasi Akurasi Hasil dengan Penelitian Terdahulu

Referensi	Domain	Metode Inferensi	Platform	Akurasi (%)
Fauzy et. al. [6]	Bengkel Motor	<i>Forward chaining</i>	Web (PHP)	80,0

Gultom et.al.[16]	Sepeda Motor	<i>Forward chaining</i>	Web (PHP)	80
Akhsa et.al. [17]	Motor Matic	<i>Forward chaining</i>	Web/Desktop	80
Sitio and Sianturi [18]	Motor Injeksi	<i>Certainty factor</i>	Desktop/Web	73,3
Apparatus Cura	Matic dan Bebek	<i>FC, BC, and CF</i>	Desktop (Python)	83,3

Meskipun menunjukkan performa yang memadai, Apparatus Cura memiliki beberapa keterbatasan yang perlu diakui. Pertama, akurasi sistem sangat bergantung pada ketepatan gejala yang dipilih oleh pengguna; kesalahan dalam identifikasi gejala secara langsung berdampak pada kualitas diagnosis. Kedua, basis pengetahuan yang ada belum mencakup kerusakan yang jarang terjadi atau kerusakan yang bersifat intermiten. Ketiga, sistem saat ini hanya tersedia dalam bentuk aplikasi desktop, sehingga keterjangkauannya masih terbatas. Keempat, basis pengetahuan perlu diperbarui secara berkala seiring dengan perkembangan teknologi kendaraan, khususnya pada model-model injeksi generasi terbaru.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pakar Apparatus Cura yang mengintegrasikan metode *Forward chaining*, *Backward chaining*, dan *Certainty factor* untuk diagnosis kerusakan mesin sepeda motor. Beberapa temuan utama dapat disimpulkan sebagai berikut: (1) Integrasi tiga metode inferensi menghasilkan akurasi rata-rata 83,3% pada 30 kasus uji, melampaui sistem sejenis yang hanya menggunakan satu metode inferensi. (2) *Certainty factor* menunjukkan performa terbaik dengan akurasi 90,0%, diikuti *Backward chaining* (80,0%) dan *Forward chaining* (76,7%). (3) Sistem memenuhi seluruh kriteria pengujian fungsional *Black Box Testing* dengan tingkat keberhasilan 100% pada 8 skenario uji. (4) Arsitektur OOP dengan tiga kelas utama (MotorKnowledgeBase, DiagnosisEngine, MotorDiagnosticApp) menghasilkan desain yang modular, mudah dipelihara, dan dapat diperluas.

Penelitian lanjutan disarankan untuk: (1) mengembangkan versi berbasis web atau mobile untuk meningkatkan aksesibilitas; (2) memperluas basis pengetahuan dengan melibatkan lebih banyak pakar dan mencakup jenis kendaraan lain seperti motor sport dan kendaraan roda empat; (3) mengintegrasikan data sensor OBD (On-Board Diagnostics) untuk diagnosis berbasis data *real-time*; dan (4) menerapkan metode *machine learning* untuk pembaruan basis pengetahuan secara adaptif.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. D. A. Saptoyo and B. Galih, "https://www.kompas.com," Kompas, 26 March 2025. [Online]. Available: <https://www.kompas.com/cekfakta/read/2025/03/26/142400382/jumlah-kendaraan-bermotor-tembus-168-juta-terbanyak-di-jatim>. [Accessed 04 04 2026].
- [2] I. Christiani and M. A. Nugroho, "Transformasi Bisnis Bengkel di Era Digital dengan Pendekatan Design Thinking:(Studi Kasus: Bengkel Tradisional di Indonesia)," *J. Teknol. dan Manaj. Ind.*

- Terap.*, vol. 4, no. 4, pp. 2124–2135, 2025.
- [3] T. Y. Ertilia *et al.*, “Analisis Kekuatan, Kelemahan, Peluang, dan Ancaman Usaha Bengkel Karel Wairhubing, Kabupaten Sikka,” *Pemberdaya. Masy. J. Aksi Sos.*, vol. 2, no. 4, pp. 352–359, 2025.
- [4] A. G. Pratama, A. M. Yunita, N. N. Wardah, and others, “Implementasi Metode Backward Chaining untuk Diagnosa Kerusakan Motor Matic Injection,” *Explor. J. Sist. Inf. dan Telemat.*, vol. 11, no. 2, pp. 91–96, 2020.
- [5] H. D. Saputra, E. Alwi, and W. Afnison, “Pelatihan Servis Sepeda Motor Injeksi Mekanik Bengkel Konvensional di Kabupaten Solok Selatan,” *Suluh Bendang J. Ilm. Pengabd. Kpd. Masy.*, vol. 19, no. 1, pp. 1–9, 2019.
- [6] D. A. Fauzy, I. Iskandar, J. Rahmadhan, and R. Priambodo, “Aplikasi Bengkel Motor Dengan Sistem Pakar Menggunakan Metode Forward Chaining,” *J. Sisfokom (Sistem Inf. dan Komputer)*, vol. 9, no. 1, pp. 89–96, 2020.
- [7] J. C. Giarratano and G. Riley, *Expert systems: principles and programming*. PWS Publishing Co., 1994.
- [8] M. I. Al Mulki, N. L. Azizah, and R. Dijaya, “Sistem Pendukung Keputusan Kerusakan Sepeda Motor Dengan Metode Forward Chaining,” *METIK J. (AKREDITASI SINTA 3)*, vol. 7, no. 1, pp. 9–17, 2023.
- [9] Y. Fatma, R. Gunawan, E. R. Kartiko, and others, “Sistem pakar kerusakan honda beat street 2021 menggunakan metode forward chaining dan certainty factor,” *J. CoSciTech (Computer Sci. Inf. Technol.)*, vol. 3, no. 3, pp. 259–266, 2022.
- [10] R. W. Astuti, A. Louis, R. Antika, and others, “Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Sepeda Motor Honda Matic Injeksi Dengan Menggunakan Metode Forward Chaining Berbasis Web: Injection Automatic Motorcycle, Expert System, Forward Chaining,” *J. Akad.*, vol. 17, no. 2, pp. 20–25, 2025.
- [11] A. I. Zalukhu, I. Syahputra, M. Iqbal, R. F. Wijaya, and others, “Analisis Metode Certainty Factor Pada Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Sepeda Motor,” *Bull. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 4, pp. 524–532, 2023.
- [12] D. D. Firmansyah and others, “Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Mesin pada Motor Honda Scoopy type Stylish Menggunakan Metode Certainty Factor Berbasis Web,” *TEKNOTIKA*, vol. 4, no. 1, pp. 209–224, 2025.
- [13] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, and S. Chatterjee, “A design science research methodology for information systems research,” *J. Manag. Inf. Syst.*, vol. 24, no. 3, pp. 45–77, 2007.
- [14] K. Hamidi, L. Hanarisanty, R. I. Kurniati, and H. Wilujeng, “Rancang Bangun Aplikasi Dekstop untuk Kebutuhan Uji Fitoremediasi,” vol. 24, pp. 208–216, 2024.
- [15] K. Hamidi and H. W. Nugroho, “Manufurr: A Feasibility Investment and Operational Desktop Calculator,” *SITEKIN J. Sains, Teknol. dan Ind.*, vol. 22, no. 2, pp. 365–377, 2025.
- [16] Z. H. Gultom and others, “Sistem Pakar Untuk Mendeteksi Kerusakan Pada Sepeda Motor Dengan Menggunakan Metode Forward Chaining Berbasis Web,” *Digit. Zo. J. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 9, no. 1, pp. 42–58, 2018.
- [17] A. C. D. Akhsa, “Sistem Pakar Diagnosa Kerusakan Motor Matic Menggunakan Metode Forward Chaining: Expert System for Diagnosing Automatic Motorcycle Damage Using the Forward Chaining Method,” *MALCOM Indones. J. Mach. Learn. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 2, pp. 452–462, 2024.
- [18] A. S. Sitio and F. A. Sianturi, “Implementasi Metode Certainty Factor dalam Mengetahui Kerusakan Sepeda Motor Type Injeksi,” *J. Sains Dan Teknol.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–7, 2021.
- [19] J. Hidayatullah, Y. Azhar, and W. Suharso, “Sistem Pakar Diagnosa HIV/AIDS Menggunakan Metode Backward Chaining dan Certainty Factor,” *J. Repos.*, vol. 2, no. 11, 2020.