Contents lists available at JESA

Journal of Engineering and Science Application

journal homepage: https://jesa.aks.or.id/index.php/jesa/index

Sistem Pakar Berbasis Web Untuk Identifikasi Awal ADHD pada Anak

Wahyu Nur Pambuko[a]*, Niki Ratama[b]

[ab]*Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Pamulang, Tangerang Selatan, Banten, Indonesia*

Article Info

Keywords:

ADHD; Sistem Pakar; Certainty Factor; Identifikasi Awal; Aplikasi Web

ABSTRACT

Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) merupakan gangguan perkembangan saraf yang dapat memengaruhi perhatian, pengendalian impuls, aktivitas, serta fungsi sosial dan akademik anak. Orang tua dan guru memerlukan informasi terstruktur untuk membantu mengenali gejala yang diamati, tanpa menjadikan hasil pengamatan sebagai diagnosis klinis. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem pakar berbasis web untuk identifikasi awal tiga kategori ADHD pada anak dan menyajikan rekomendasi penanganan awal menggunakan metode Certainty Factor (CF). Pengembangan sistem menerapkan model Waterfall yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Sistem dibangun menggunakan ReactJS, ExpressJS, dan PostgreSQL. Basis pengetahuan terdiri atas 27 gejala, tiga kategori, serta bobot Measure of Belief (MB) dan Measure of Disbelief (MD) yang diperoleh melalui proses akuisisi pengetahuan pakar. Nilai CF pakar dihitung dari selisih MB dan MD, kemudian dikalikan dengan tingkat keyakinan pengguna. Nilai dari gejala yang relevan digabungkan untuk memperoleh tingkat keyakinan setiap kategori. Pengujian meliputi Black-Box Testing terhadap fungsi aplikasi, White-Box Testing dengan Basis Path Testing pada fungsi calculate CF (), serta evaluasi menggunakan confusion matrix terhadap 10 kasus yang dibandingkan dengan penilaian pakar. Hasil pengujian fungsional menunjukkan skenario yang diuji berjalan sesuai harapan, sedangkan pengujian struktural menunjukkan alur perhitungan mengikuti logika yang dirancang. Evaluasi menghasilkan sembilan prediksi sesuai dari sepuluh kasus atau akurasi sebesar 90%. Nilai tersebut terbatas pada data uji penelitian dan tidak mewakili akurasi klinis umum. Sistem diharapkan menjadi sarana informasi dan identifikasi awal, bukan pengganti pemeriksaan profesional.

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Corresponding Author:

Wahyu Nur Pambuko
Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer
Universitas Pamulang
Tangerang Selatan, Banten, Indonesia
Email: wahyunurpambuko@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) merupakan gangguan perkembangan saraf yang ditandai oleh pola kurang perhatian dan/atau hiperaktivitas-impulsivitas yang menetap serta dapat memengaruhi fungsi sosial, akademik, dan aktivitas sehari-hari anak [1]. Perilaku yang berkaitan dengan ADHD tidak

selalu mudah dikenali oleh orang tua maupun guru, terutama ketika pengamatan dilakukan tanpa panduan informasi yang terstruktur. Informasi mengenai gejala dapat membantu proses pengamatan awal, tetapi penetapan diagnosis klinis tetap memerlukan pemeriksaan oleh tenaga profesional yang berwenang.

Gejala ADHD umumnya dikelompokkan ke dalam dua domain, yaitu inatensi serta hiperaktivitas-impulsivitas. Kedua domain tersebut menjadi dasar pengelompokan presentasi ADHD menjadi tipe inatensi, hiperaktif-impulsif, dan kombinasi [1]. Sejumlah penelitian telah menerapkan sistem pakar dan metode Certainty Factor (CF) untuk membantu identifikasi perilaku ADHD maupun gangguan perkembangan lainnya [2]–[8]. Metode CF dapat digunakan untuk merepresentasikan tingkat keyakinan dan ketidakpercayaan terhadap suatu hipotesis berdasarkan bukti gejala yang diberikan [9].

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sarana berbasis web yang membantu orang tua dan guru melakukan identifikasi awal gejala ADHD pada anak. Sistem menyediakan informasi gejala, kuesioner, proses perhitungan terhadap tiga kategori ADHD, serta rekomendasi penanganan awal. Berbeda dengan sistem yang hanya menyajikan hasil kategori, penelitian ini mengintegrasikan basis pengetahuan 27 gejala, tingkat keyakinan pengguna, bobot pakar, dan rekomendasi awal dalam satu aplikasi. Sistem tidak dimaksudkan untuk menggantikan pemeriksaan profesional atau diagnosis klinis.

Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan dan mengevaluasi sistem pakar berbasis web yang menerapkan metode CF untuk identifikasi awal ADHD pada anak. Evaluasi dilakukan melalui pengujian fungsional, pengujian struktural terhadap fungsi calculateCF(), serta perbandingan hasil sistem dengan penilaian pakar pada sepuluh kasus uji.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Rancangan Penelitian dan Pengembangan Sistem

Penelitian menggunakan pendekatan rekayasa perangkat lunak dengan model pengembangan Waterfall. Tahapan pengembangan meliputi analisis kebutuhan, perancangan sistem, implementasi, pengujian, dan evaluasi. Analisis kebutuhan dilakukan untuk menentukan kebutuhan informasi serta fungsi yang diperlukan dalam proses identifikasi awal ADHD. Perancangan mencakup basis pengetahuan, alur inferensi, antarmuka pengguna, dan arsitektur aplikasi. Sistem diimplementasikan menggunakan ReactJS pada sisi frontend, ExpressJS pada sisi backend, serta PostgreSQL sebagai basis data.

Pengumpulan data dalam penelitian dilakukan melalui studi literatur, wawancara dengan pakar terkait untuk memvalidasi gejala, nilai keyakinan, dan rekomendasi penanganan, serta kuesioner untuk mengetahui kebutuhan calon pengguna seperti orang tua dan guru. Basis pengetahuan disusun atas 27 gejala yang dikelompokkan ke dalam tiga kategori, yaitu Inatentif (P01), Hiperaktif-Impulsif (P02), dan Kombinasi (P03).

2.1.1 Tahapan Model Waterfall

Pada tahap analisis kebutuhan, penelitian mengidentifikasi permasalahan utama, karakteristik pengguna, kebutuhan informasi, serta fungsi yang diperlukan. Pengguna utama sistem adalah orang tua dan guru yang mengamati perilaku anak dalam lingkungan sehari-hari. Kebutuhan fungsional meliputi pengisian kuesioner, pengolahan jawaban, penyajian hasil identifikasi awal, pemberian rekomendasi penanganan, dan pengelolaan basis pengetahuan oleh administrator. Kebutuhan nonfungsional mencakup kemudahan akses melalui peramban, konsistensi penyimpanan data, dan keterbacaan informasi hasil.

Tahap perancangan menerjemahkan kebutuhan tersebut ke dalam rancangan proses dan struktur aplikasi. Rancangan proses menggambarkan hubungan antara pengguna, kuesioner, mesin inferensi Certainty Factor, dan keluaran sistem. Rancangan data memisahkan informasi pengguna, data gejala, kategori ADHD, aturan pakar, serta hasil identifikasi. Pemisahan tersebut diperlukan agar perubahan bobot atau aturan dapat dikelola tanpa mengubah keseluruhan alur aplikasi.

Tahap implementasi dilakukan dengan membangun antarmuka menggunakan ReactJS, layanan backend menggunakan ExpressJS, dan penyimpanan terstruktur menggunakan PostgreSQL. Antarmuka bertugas menerima masukan dan menampilkan informasi, sedangkan backend menjalankan validasi serta perhitungan. Basis data menyimpan komponen pengetahuan yang dibutuhkan dalam proses inferensi. Pemilihan teknologi tersebut disesuaikan dengan kebutuhan aplikasi web yang memisahkan presentasi, logika proses, dan penyimpanan data.

Tahap pengujian dilakukan setelah fungsi utama selesai diimplementasikan. Pengujian fungsional digunakan untuk memeriksa kesesuaian perilaku aplikasi terhadap skenario yang ditetapkan. Pengujian struktural dilakukan pada fungsi calculateCF() untuk meninjau jalur logika perhitungan. Selain itu, hasil kategori sistem dibandingkan dengan penilaian pakar pada sejumlah kasus uji. Tahap evaluasi digunakan untuk menafsirkan temuan pengujian dan mengidentifikasi bagian yang masih perlu dikembangkan.

2.1.2 Teknik Pengumpulan dan Pengolahan Data

Studi literatur dilakukan untuk memperoleh landasan mengenai karakteristik ADHD, sistem pakar, metode Certainty Factor, pengembangan aplikasi berbasis web, dan teknik pengujian perangkat lunak. Literatur mengenai ADHD digunakan untuk memahami domain gejala dan batasan identifikasi awal. Literatur mengenai Certainty Factor menjadi dasar penentuan persamaan perhitungan, sedangkan referensi pengujian digunakan untuk menyusun prosedur pengujian fungsional dan struktural.

Wawancara dengan pakar digunakan dalam proses akuisisi pengetahuan. Informasi yang dihimpun berkaitan dengan gejala yang digunakan, tingkat keyakinan pakar terhadap hubungan gejala dan kategori, serta arahan rekomendasi penanganan awal. Pengetahuan tersebut direpresentasikan dalam bentuk aturan yang menghubungkan gejala dengan kategori ADHD. Nilai MB dan MD menjadi komponen untuk menghitung nilai CF pakar pada setiap aturan.

Kuesioner digunakan untuk memahami kebutuhan calon pengguna dan menyediakan mekanisme bagi pengguna untuk menyatakan tingkat kesesuaian gejala yang diamati. Jawaban pengguna tidak diperlakukan sebagai penetapan diagnosis, melainkan sebagai masukan dengan bobot numerik yang diproses oleh sistem. Dengan cara ini, sistem menggabungkan pengetahuan yang dimasukkan oleh pakar dan tingkat keyakinan pengguna terhadap gejala yang dipilih.

2.1.3 Penyusunan Basis Pengetahuan

Basis pengetahuan menjadi komponen inti karena seluruh hasil inferensi bergantung pada keterkaitan antara gejala, kategori, dan bobot pakar. Penelitian menggunakan 27 gejala yang diberi kode G01 sampai G27 serta tiga kategori keluaran, yaitu Inatentif (P01), Hiperaktif-Impulsif (P02), dan Kombinasi (P03). Setiap aturan menyimpan nilai MB dan MD yang digunakan untuk menghitung CF pakar. Data gejala dan aturan dikelola oleh administrator agar informasi yang digunakan mesin inferensi dapat diperbarui sesuai hasil validasi.

Pengelompokan gejala mengacu pada domain inatensi dan hiperaktivitas-impulsivitas sebagaimana dijelaskan dalam pedoman diagnostik. Kategori Inatentif merepresentasikan kecenderungan gejala pada domain kurang perhatian, sedangkan kategori Hiperaktif-Impulsif merepresentasikan kecenderungan pada domain aktivitas berlebihan dan impulsivitas. Kategori Kombinasi mempertimbangkan keterlibatan kedua domain. Pengelompokan dalam aplikasi merupakan representasi basis aturan penelitian dan bukan proses penegakan diagnosis klinis.

Nilai jawaban pengguna dipetakan ke dalam skala numerik agar dapat dikalkulasikan. Skala tersebut menjaga konsistensi masukan pada setiap pertanyaan dan memungkinkan perhitungan dilakukan secara berulang dengan prosedur yang sama. Tabel 1 menyajikan bobot jawaban yang digunakan dalam penelitian.

Tabel 1. Bobot jawaban pengguna

Jawaban pengguna	Bobot CFuser
Sangat Setuju	1,00
Setuju	0,75
Cukup Setuju	0,50
Tidak Setuju	0,25
Sangat Tidak Setuju	0,00

Jawaban pengguna | Bobot CFuser

Sangat Setuju = 1,00; Setuju = 0,75; Cukup Setuju = 0,50; Tidak Setuju = 0,25; Sangat Tidak Setuju = 0,00.

2.1.4 Alur Identifikasi Awal

Alur penggunaan dimulai ketika pengguna membuka aplikasi dan memasukkan informasi yang diminta untuk memulai proses. Selanjutnya, sistem menampilkan daftar pertanyaan atau gejala yang dapat diamati. Pengguna memberikan jawaban berdasarkan pengamatan terhadap perilaku anak. Sistem memvalidasi masukan untuk memastikan setidaknya terdapat gejala yang dipilih sebelum perhitungan dijalankan. Apabila belum ada gejala yang dipilih, sistem menampilkan pemberitahuan dan meminta pengguna melengkapi masukan.

Setelah validasi berhasil, backend mengambil aturan yang berhubungan dengan gejala terpilih. Sistem menghitung nilai CF pakar dan mengalikannya dengan bobot jawaban pengguna. Nilai CF gejala kemudian dikelompokkan menurut kategori dan digabungkan secara bertahap. Hasil akhir dari setiap kategori dibandingkan untuk menentukan nilai keyakinan tertinggi. Sistem menampilkan kategori dengan nilai tertinggi, persentase keyakinan, serta rekomendasi penanganan awal yang sesuai dengan kategori tersebut.

Rekomendasi yang ditampilkan bersifat informasional dan diarahkan untuk membantu pengguna memahami langkah awal yang dapat dipertimbangkan, termasuk perlunya konsultasi lebih lanjut. Informasi tersebut tidak dimaksudkan sebagai instruksi pengobatan mandiri. Dalam konteks ADHD, keputusan pemeriksaan, penetapan diagnosis, dan pemilihan intervensi tetap harus dilakukan oleh tenaga profesional yang memiliki kewenangan sesuai bidangnya.

2.2 Perhitungan Certainty Factor

Metode Certainty Factor digunakan untuk merepresentasikan tingkat keyakinan terhadap suatu hipotesis berdasarkan bukti yang tersedia. Nilai CF pakar untuk setiap gejala diperoleh dari selisih Measure of Belief (MB) dan Measure of Disbelief (MD), kemudian dikalikan dengan nilai keyakinan pengguna (CFuser). Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$CFpakar = MB - MD \quad (1)$$

$$CFgejala = CFpakar \times CFuser \quad (2)$$

MB dan MD masing-masing menyatakan tingkat keyakinan dan ketidakpercayaan pakar, sedangkan CFuser menyatakan tingkat keyakinan yang dipilih pengguna. Untuk menggabungkan dua nilai CF positif, digunakan persamaan:

$$CFcombine = CFsebelumnya + CFberikutnya \times (1 - CFsebelumnya) \quad (3)$$

Proses kombinasi diterapkan pada bukti gejala yang relevan untuk setiap kategori ADHD. Nilai akhir dari ketiga kategori dibandingkan, kemudian kategori dengan nilai CF tertinggi ditampilkan sebagai hasil identifikasi awal beserta rekomendasi penanganan yang sesuai.

2.2.1 Tahapan Perhitungan

Perhitungan dimulai dengan menentukan nilai CF pakar untuk setiap aturan. Nilai tersebut diperoleh dari selisih MB dan MD, dengan rentang bobot yang digunakan berada pada skala 0 sampai 1. Nilai positif menunjukkan tingkat keyakinan terhadap hubungan gejala dan kategori berdasarkan pengetahuan pakar. Selanjutnya, nilai CF pakar dikalikan dengan CFuser untuk memperoleh CFgejala. Tahapan ini membuat kontribusi suatu gejala dipengaruhi oleh bobot aturan dan tingkat kesesuaian yang dipilih pengguna.

Apabila lebih dari satu gejala berkontribusi pada kategori yang sama, sistem menggabungkan nilai CF secara bertahap. Penggabungan dilakukan dengan memasukkan nilai kombinasi sebelumnya dan nilai CF gejala berikutnya ke dalam persamaan CFcombine. Hasil kombinasi menjadi nilai antara yang digunakan pada langkah selanjutnya. Proses diteruskan hingga seluruh gejala relevan untuk kategori tersebut selesai diproses. Nilai akhir kemudian dikonversi menjadi persentase dengan mengalikan nilai CF dengan 100%.

Penghitungan dilakukan secara terpisah untuk setiap kategori agar sistem memperoleh tiga nilai yang dapat dibandingkan. Perbandingan tersebut tidak berarti bahwa kategori dengan nilai tertinggi telah terkonfirmasi secara medis. Nilai tertinggi hanya menunjukkan kategori yang paling kuat menurut aturan dan masukan yang tersedia dalam sistem. Penjelasan ini penting agar pengguna memahami arti keluaran dan batas penggunaan hasil identifikasi awal.

2.2.2 Ilustrasi Perhitungan

Sebagai ilustrasi, gejala G01 memiliki nilai MB sebesar 0,80 dan MD sebesar 0,20. Pengguna memilih jawaban dengan bobot 0,75. Nilai CF pakar dihitung sebesar 0,80 dikurangi 0,20, yaitu 0,60. Nilai tersebut kemudian dikalikan dengan CFuser sebesar 0,75 sehingga diperoleh CFgejala sebesar 0,45. Untuk gejala G02, misalnya nilai MB sebesar 0,70 dan MD sebesar 0,30 dengan bobot pengguna 0,75. Nilai CF pakar G02 adalah 0,40 dan nilai CFgejala adalah 0,30.

Kedua nilai gejala tersebut kemudian digabungkan. Kombinasi awal antara nilai 0,45 dan 0,30 menghasilkan $0{,}45 + 0{,}30 \times (1 - 0{,}45) = 0{,}615$. Dengan demikian, nilai kombinasi dari dua gejala pada ilustrasi tersebut adalah 0,615 atau 61,5%. Angka ini hanya menjelaskan mekanisme perhitungan dua gejala dan bukan hasil akhir untuk seluruh kategori pada kasus pengujian.

2.2.3 Penentuan Hasil Kategori

Setelah seluruh gejala diproses, sistem memiliki nilai CF akhir untuk kategori Inatentif, Hiperaktif-Impulsif, dan Kombinasi. Sistem membandingkan ketiga nilai tersebut dan menampilkan kategori dengan nilai paling tinggi sebagai hasil identifikasi awal. Informasi hasil dilengkapi dengan persentase keyakinan serta rekomendasi penanganan awal. Jika masukan gejala berubah, nilai yang dihasilkan juga dapat berubah karena proses perhitungan bergantung pada gejala dan bobot jawaban yang diberikan.

2.3 Pengujian dan Evaluasi Sistem

Black-Box Testing digunakan untuk menguji fungsi yang dapat diamati dari aplikasi, meliputi autentikasi, proses identifikasi oleh pengguna, pengelolaan data gejala, pengelolaan kategori diagnosis, dan pengelolaan basis aturan. White-Box Testing difokuskan pada fungsi calculateCF() dengan pendekatan Basis Path Testing. Alur internal diperiksa untuk meninjau validasi gejala, pengambilan aturan, perhitungan CF, kombinasi nilai CF, dan pembentukan hasil.

Evaluasi hasil klasifikasi dilakukan dengan membandingkan kategori prediksi sistem terhadap kategori hasil penilaian pakar pada 10 kasus uji. Akurasi dihitung dengan membagi jumlah prediksi yang sesuai dengan

jumlah seluruh kasus uji, kemudian dikalikan 100%. Perhitungan confusion matrix juga dilakukan untuk masing-masing kategori dengan pendekatan one-versus-rest [10], [23].

2.3.1 Pengujian Fungsional

Pengujian Black-Box dilakukan dengan memberikan masukan pada fungsi aplikasi dan memeriksa keluaran yang dihasilkan tanpa meninjau struktur kode secara langsung. Skenario disusun untuk mewakili fungsi utama dari sisi pengguna dan administrator. Pada sisi pengguna, pengujian mencakup proses registrasi dan login, pengisian informasi awal, validasi pemilihan gejala, pemrosesan kuesioner, penampilan hasil, dan keluaran laporan. Pada sisi administrator, pengujian mencakup penampilan, penambahan, perubahan, dan penghapusan data gejala, kategori, serta aturan.

Kriteria keberhasilan ditentukan berdasarkan kesesuaian hasil aktual dengan hasil yang diharapkan. Sebagai contoh, sistem harus menolak autentikasi ketika kredensial tidak sesuai, memberikan pemberitahuan ketika pengguna belum memilih gejala, dan menyimpan perubahan data ketika administrator memasukkan informasi yang valid. Pengujian juga memeriksa apakah respons aplikasi memberikan informasi yang cukup untuk mengetahui status proses. Hasil pengujian pada skripsi menunjukkan bahwa skenario yang diuji memberikan keluaran sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan.

2.3.2 Pengujian Struktural

Pengujian White-Box difokuskan pada fungsi calculateCF() karena fungsi tersebut menjalankan proses inti metode Certainty Factor. Pemeriksaan dilakukan dengan pendekatan Basis Path Testing melalui identifikasi alur kontrol, simpul keputusan, dan jalur independen. Bagian yang diperiksa meliputi validasi gejala terpilih, pengambilan aturan yang berkaitan, inisialisasi penampung hasil, iterasi gejala, pemfilteran aturan, perhitungan CF pakar, perkalian dengan bobot pengguna, dan penggabungan nilai.

Pengujian struktural bertujuan memastikan bahwa kondisi dan jalur logika yang telah dirancang dapat dilalui sesuai alur program. Pemeriksaan ini berbeda dari Black-Box Testing: Black-Box menilai kesesuaian fungsi berdasarkan masukan dan keluaran, sedangkan White-Box meninjau struktur internal kode. Hasil pengujian pada fungsi calculateCF() menunjukkan bahwa jalur yang diperiksa berjalan sesuai rancangan dan tidak ditemukan kesalahan logika pada jalur pengujian tersebut.

2.3.3 Evaluasi Menggunakan Confusion Matrix

Evaluasi klasifikasi dilakukan dengan membandingkan label kategori hasil sistem dengan label hasil penilaian pakar pada sepuluh kasus. Akurasi dihitung dari jumlah prediksi yang sama dengan penilaian pakar dibagi jumlah seluruh kasus. Untuk membaca kinerja tiap kategori, confusion matrix dihitung dengan pendekatan one-versus-rest. Pada pendekatan tersebut, satu kategori diperlakukan sebagai kelas positif, sedangkan dua kategori lainnya diperlakukan sebagai kelas negatif.

Komponen True Positive (TP) menunjukkan kasus suatu kategori yang dikenali dengan benar. False Positive (FP) menunjukkan kasus dari kategori lain yang keliru diprediksi sebagai kategori yang sedang dievaluasi. False Negative (FN) menunjukkan kasus kategori tersebut yang diprediksi sebagai kategori lain, sedangkan True Negative (TN) menunjukkan kasus dari kategori lain yang tidak keliru dimasukkan ke kategori tersebut. Precision, recall, F1-score, dan specificity dihitung dari komponen tersebut untuk memberikan gambaran yang lebih rinci dibandingkan akurasi tunggal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Implementasi Sistem

Aplikasi yang dihasilkan menyediakan alur bagi pengguna untuk memasukkan informasi yang diperlukan, mengisi kuesioner gejala, dan melihat hasil identifikasi awal. Halaman hasil menampilkan kategori dengan nilai CF tertinggi, tingkat keyakinan, serta informasi rekomendasi penanganan awal. Aplikasi juga menyediakan panel administrator untuk mengelola data gejala, kategori diagnosis, dan basis aturan, termasuk nilai MB dan MD yang digunakan dalam perhitungan CF.

Implementasi menggunakan ReactJS, ExpressJS, dan PostgreSQL. ReactJS digunakan untuk membangun antarmuka pengguna, ExpressJS menangani permintaan serta proses perhitungan pada sisi server, sedangkan PostgreSQL digunakan untuk menyimpan data secara terstruktur. Pemisahan tersebut mendukung pengelolaan antarmuka, logika aplikasi, dan penyimpanan data secara terorganisasi [18]–[22].

3.1.1 Fitur Pengguna dan Administrator

Fitur pengguna dirancang dengan alur yang sederhana agar orang tua dan guru dapat mengikuti proses identifikasi tanpa harus memahami perhitungan CF secara manual. Pengguna memulai proses dengan memasukkan informasi yang diminta, kemudian menjawab pertanyaan gejala. Setiap jawaban dipetakan ke bobot numerik yang telah ditentukan. Setelah proses perhitungan selesai, halaman hasil menyajikan kategori dengan nilai tertinggi, nilai keyakinan, dan rekomendasi penanganan awal. Hasil juga dapat disediakan dalam

bentuk dokumen PDF agar informasi dapat disimpan atau dibawa ketika pengguna melakukan konsultasi lebih lanjut.

Fitur administrator digunakan untuk menjaga agar basis pengetahuan tetap dapat dikelola. Administrator dapat melihat dan mengelola data gejala, kategori diagnosis, serta aturan yang menghubungkan gejala dengan kategori. Pada aturan, nilai MB dan MD menjadi parameter yang memengaruhi perhitungan CF pakar. Pengelolaan melalui antarmuka administrasi memungkinkan pembaruan pengetahuan dilakukan secara terstruktur, namun perubahan bobot tetap perlu didasarkan pada validasi pakar, bukan perkiraan administrator.

3.1.2 Arsitektur Implementasi

Arsitektur aplikasi membagi tanggung jawab menjadi tiga lapisan utama. Lapisan frontend yang dibangun dengan ReactJS bertanggung jawab terhadap tampilan, navigasi, pengumpulan jawaban, dan penyajian hasil. Lapisan backend yang dibangun dengan ExpressJS menerima permintaan dari frontend, melakukan validasi, mengambil aturan yang relevan, menjalankan perhitungan CF, dan mengembalikan hasil. Lapisan basis data PostgreSQL menyimpan data yang diperlukan oleh aplikasi, seperti akun, gejala, kategori, aturan, dan data hasil yang relevan.

Pembagian lapisan tersebut membantu menjaga agar proses perhitungan tidak bergantung pada tampilan antarmuka. Ketika pengguna mengirimkan jawaban, frontend meneruskan data ke backend melalui API. Backend memproses data berdasarkan aturan yang tersimpan dan mengirimkan respons untuk ditampilkan kembali. Dengan demikian, antarmuka tidak menjadi tempat penyimpanan bobot pakar atau sumber utama keputusan inferensi. Pemisahan ini juga memudahkan pemeliharaan ketika tampilan atau struktur basis data mengalami perubahan.

3.1.3 Penyajian Hasil dan Rekomendasi

Hasil identifikasi disusun agar pengguna tidak hanya menerima label kategori, tetapi juga memahami tingkat keyakinan yang dihitung dari jawaban dan aturan yang digunakan. Nilai persentase ditampilkan sebagai representasi numerik hasil kombinasi CF. Rekomendasi penanganan awal diberikan sesuai kategori hasil untuk menyediakan informasi lanjutan yang dapat dipertimbangkan oleh pengguna. Penyajian hasil harus dibaca bersama keterangan bahwa sistem hanya membantu identifikasi awal dan tidak menetapkan diagnosis klinis.

3.2 Proses Perhitungan Certainty Factor

Perhitungan CF menggabungkan pengetahuan pakar dengan tingkat keyakinan yang diberikan pengguna. Pertama, sistem menghitung CFpakar dari selisih nilai MB dan MD pada setiap aturan yang sesuai. Kedua, nilai CFpakar dikalikan dengan CFuser untuk memperoleh nilai CF gejala. Ketiga, nilai CF gejala digabungkan untuk setiap kategori menggunakan persamaan kombinasi CF. Nilai akhir dari ketiga kategori kemudian dibandingkan untuk menentukan kategori identifikasi awal dengan tingkat keyakinan tertinggi.

Skripsi menyajikan beberapa contoh pengisian kuesioner yang menghasilkan nilai akhir berbeda pada kategori Inatentif, Hiperaktif-Impulsif, dan Kombinasi. Contoh tersebut memperlihatkan bahwa hasil sistem bergantung pada gejala yang dipilih dan tingkat keyakinan pengguna. Nilai pada contoh perhitungan digunakan untuk menjelaskan proses inferensi, bukan sebagai ukuran akurasi keseluruhan sistem.

Tiga kategori hasil memungkinkan sistem menampilkan kecenderungan Inatentif, Hiperaktif-Impulsif, atau Kombinasi. Hasil tersebut merupakan informasi identifikasi awal berdasarkan gejala yang dipilih dan aturan yang tersimpan pada basis pengetahuan. Hasil tidak dapat diperlakukan sebagai diagnosis klinis yang telah dikonfirmasi.

3.2.1 Proses Pengolahan Jawaban

Pada saat pengguna menyelesaikan kuesioner, sistem mengidentifikasi gejala yang dipilih dan mengambil aturan yang berhubungan dengan setiap gejala tersebut. Nilai MB dan MD pada aturan dihitung menjadi CF pakar. Nilai CF pakar kemudian dikalikan dengan bobot CFuser dari jawaban pengguna. Hasil perkalian tersebut menjadi CFgejala yang akan dimasukkan ke dalam kelompok kategori yang sesuai. Proses ini dilakukan terhadap seluruh gejala yang memiliki aturan relevan.

Penggabungan dilakukan secara berurutan. Nilai CFgejala pertama menjadi nilai awal kombinasi, kemudian nilai gejala berikutnya digabungkan menggunakan persamaan CFcombine. Nilai hasil kombinasi sebelumnya menjadi masukan pada iterasi berikutnya. Penggunaan nilai kombinasi sebelumnya menjaga agar kontribusi beberapa gejala dihitung secara kumulatif dalam satu kategori. Setelah semua gejala selesai diproses, sistem memperoleh nilai akhir untuk masing-masing kategori.

3.2.2 Contoh Hasil Identifikasi

Pada salah satu contoh hasil pengujian dalam skripsi, sistem memperoleh nilai CF sebesar 99,61% untuk kategori Inatensi, 92,38% untuk kategori Hiperaktif-Impulsif, dan 85,69% untuk kategori Kombinasi. Berdasarkan perbandingan ketiga nilai tersebut, kategori Inatensi memiliki nilai tertinggi pada skenario tersebut. Hasil ini memperlihatkan cara sistem menentukan kategori yang ditampilkan kepada pengguna, yaitu dengan membandingkan nilai CF akhir dari seluruh kategori yang dihitung.

Nilai pada satu skenario tidak dapat digunakan untuk menyatakan bahwa sistem selalu menghasilkan kategori Inatensi atau bahwa kategori tersebut merupakan kondisi klinis anak. Jika kombinasi gejala dan tingkat keyakinan pengguna berubah, nilai CF setiap kategori juga dapat berubah. Oleh karena itu, sistem menampilkan hasil berdasarkan data masukan pada satu sesi dan menyertakan rekomendasi awal sebagai informasi, bukan sebagai keputusan medis.

3.3 Pengujian Fungsional dan Struktural

Skenario Black-Box Testing mencakup proses autentikasi, identifikasi oleh pengguna, pengelolaan gejala, pengelolaan kategori diagnosis, dan pengelolaan basis aturan. Hasil pengujian pada skripsi menunjukkan bahwa skenario yang diuji memberikan keluaran sesuai dengan hasil yang diharapkan. Pengujian White-Box terhadap fungsi calculateCF() dilakukan dengan meninjau alur kontrol dan jalur independen. Pemeriksaan mencakup validasi gejala yang dipilih, pengambilan aturan, perhitungan dan kombinasi CF, hingga pembentukan hasil. Jalur yang diuji mengikuti logika yang dirancang dan tidak ditemukan kesalahan logika pada jalur pengujian tersebut [10].

Pada pengujian fungsional, pemeriksaan terhadap sisi pengguna memastikan bahwa proses pengisian informasi dan kuesioner dapat diselesaikan, masukan yang tidak memenuhi syarat dapat ditolak, dan hasil identifikasi dapat ditampilkan. Pemeriksaan sisi administrator memastikan data gejala, kategori, dan aturan dapat ditampilkan serta dikelola melalui fungsi yang disediakan. Hasil tersebut menunjukkan kesesuaian fungsi aplikasi terhadap skenario uji, tetapi tidak secara langsung mengukur ketepatan pengetahuan pakar atau validitas klinis rekomendasi.

Pada pengujian struktural, fungsi calculateCF() ditelusuri melalui jalur kontrol yang telah diidentifikasi dalam flowgraph. Jalur yang diuji mencakup kondisi ketika gejala tidak dipilih, proses pembentukan daftar identitas gejala, pengambilan aturan, iterasi gejala, perhitungan nilai CF, serta penggabungan hasil. Pemeriksaan terhadap jalur tersebut membantu memastikan bahwa fungsi tidak hanya menghasilkan keluaran pada skenario normal, tetapi juga menangani kondisi awal yang diperlukan sebelum perhitungan dijalankan.

3.4 Perbandingan Hasil Sistem dengan Penilaian Pakar

Evaluasi dilakukan terhadap sepuluh kasus dengan membandingkan hasil kategori dari pakar dan sistem. Sembilan kasus menghasilkan kategori yang sama, sedangkan satu kasus menunjukkan perbedaan: pakar memberikan kategori Inatentif, sementara sistem menghasilkan kategori Kombinasi. Dengan demikian, tingkat kesesuaian sistem terhadap penilaian pakar pada data uji tersebut adalah 90%.

Tabel 2. Hasil confusion matrix dengan pendekatan one-versus-rest

Kasus	Kategori Pakar	Kategori Sistem	Hasil
1	Inatentif	Inatentif	Sesuai
2	Hiperaktif-Impulsif	Hiperaktif-Impulsif	Sesuai
3	Kombinasi	Kombinasi	Sesuai
4	Inatentif	Kombinasi	Tidak sesuai
5	Kombinasi	Kombinasi	Sesuai
6	Hiperaktif-Impulsif	Hiperaktif-Impulsif	Sesuai
7	Inatentif	Inatentif	Sesuai
8	Kombinasi	Kombinasi	Sesuai
9	Hiperaktif-Impulsif	Hiperaktif-Impulsif	Sesuai
10	Inatentif	Inatentif	Sesuai

Tabel 3. Perbandingan hasil penilaian pakar dan sistem pada 10 kasus uji

Tabel 3 memperlihatkan bahwa perbedaan hasil terjadi pada kasus keempat, ketika penilaian pakar menunjukkan kategori Inatentif sedangkan sistem menghasilkan kategori Kombinasi. Sembilan kasus lainnya memiliki hasil yang sama. Ketidaksesuaian tersebut menjadi bahan evaluasi untuk meninjau kembali bobot aturan, karakteristik gejala yang dipilih, dan kecukupan basis pengetahuan. Dengan hanya sepuluh kasus uji, temuan ini masih bersifat awal dan perlu dikaji menggunakan data yang lebih besar.

Kategori	TP	FP	FN	TN
Inatentif	3	0	1	6
Hiperaktif-Impulsif	3	0	0	7
Kombinasi	3	1	0	6

Berdasarkan perhitungan per kategori, tipe Inatentif memperoleh precision 1,00, recall 0,75, F1-score 0,857, dan specificity 1,00. Tipe Hiperaktif-Impulsif memperoleh precision, recall, F1-score, dan specificity masing-masing 1,00. Sementara itu, tipe Kombinasi memperoleh precision 0,75, recall 1,00, F1-score 0,857,

dan specificity 0,857. Akurasi keseluruhan sebesar 90% menunjukkan sembilan hasil yang sesuai dari sepuluh kasus uji. Karena jumlah data uji masih terbatas, nilai tersebut hanya menggambarkan hasil pada sampel evaluasi penelitian dan belum dapat digeneralisasikan sebagai akurasi klinis.

3.5 Pembahasan dan Keterbatasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa aplikasi dapat menjalankan alur identifikasi awal, memproses gejala yang dipilih pengguna menggunakan metode CF, dan menyajikan kategori awal beserta informasi pendukung. Pengujian fungsional memberikan gambaran bahwa fungsi yang diuji berjalan sesuai skenario, sedangkan pengujian struktural menunjukkan bahwa jalur fungsi calculateCF() yang diperiksa mengikuti rancangan logika. Perbandingan dengan penilaian pakar memberikan gambaran awal tingkat kesesuaian sebesar 90% pada sepuluh kasus uji.

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, jumlah data evaluasi masih sedikit sehingga pengujian lanjutan perlu menggunakan data yang lebih banyak dan seimbang untuk ketiga kategori. Kedua, basis pengetahuan, nilai MB dan MD, serta rekomendasi penanganan perlu divalidasi lebih lanjut dengan melibatkan lebih dari satu pakar. Ketiga, sistem melakukan identifikasi awal berdasarkan gejala yang dilaporkan atau diamati dan belum mengevaluasi seluruh persyaratan klinis untuk diagnosis ADHD. Oleh karena itu, pengguna tetap perlu diarahkan kepada tenaga profesional untuk pemeriksaan lebih lanjut.

3.5.1 Interpretasi Hasil Evaluasi

Hasil confusion matrix menunjukkan bahwa kinerja sistem tidak sepenuhnya seragam pada setiap kategori. Kategori Hiperaktif-Impulsif memperoleh precision, recall, F1-score, dan specificity sebesar 1,00 pada data uji. Kategori Inatentif memperoleh precision 1,00 dan specificity 1,00, tetapi recall sebesar 0,75 karena terdapat satu kasus Inatentif yang tidak dikenali sebagai Inatentif. Kategori Kombinasi memperoleh precision 0,75 dan recall 1,00; hal ini berkaitan dengan satu kasus dari kategori lain yang diprediksi sebagai Kombinasi.

Perbedaan precision dan recall tersebut memberikan informasi yang tidak terlihat apabila evaluasi hanya menggunakan akurasi keseluruhan. Precision menggambarkan proporsi prediksi positif yang benar, sedangkan recall menggambarkan proporsi kasus positif yang berhasil dikenali. Pada data penelitian ini, hasil kategori Kombinasi menunjukkan bahwa seluruh kasus Kombinasi dapat dikenali, tetapi terdapat satu prediksi Kombinasi yang berasal dari kategori lain. Interpretasi tersebut harus dibaca dengan mempertimbangkan jumlah data yang terbatas.

3.5.2 Implikasi dan Keterbatasan Penelitian

Dari sisi penggunaan, sistem dapat membantu orang tua dan guru menyusun pengamatan awal secara lebih terstruktur. Kuesioner mendorong pengguna memperhatikan gejala yang relevan, sementara hasil perhitungan memberikan ringkasan kecenderungan kategori berdasarkan aturan yang telah disusun. Rekomendasi penanganan awal dapat menjadi bahan untuk mencari informasi atau mempersiapkan konsultasi. Sistem juga memperlihatkan bagaimana pengetahuan pakar dapat direpresentasikan dalam aturan yang dapat diproses secara konsisten oleh aplikasi.

Meskipun demikian, hasil penelitian memiliki beberapa batasan. Jumlah kasus uji sebanyak sepuluh belum cukup untuk menggambarkan performa sistem pada populasi yang lebih luas. Komposisi data yang terbatas juga dapat memengaruhi nilai precision, recall, dan F1-score setiap kategori. Selain itu, hasil perhitungan sangat dipengaruhi oleh kualitas basis pengetahuan, nilai MB dan MD, serta cara pengguna mengamati dan menjawab gejala. Kesalahan atau ketidaklengkapan pada salah satu komponen tersebut dapat memengaruhi hasil identifikasi.

Penelitian ini juga tidak melakukan pemeriksaan klinis secara langsung terhadap setiap anak yang menggunakan sistem. Gejala ADHD perlu dinilai dalam konteks perkembangan, durasi, tingkat gangguan fungsi, dan kemunculannya pada lebih dari satu lingkungan. Sistem berbasis kuesioner tidak dapat menggantikan wawancara klinis, observasi profesional, maupun pemeriksaan komprehensif. Oleh sebab itu, istilah identifikasi awal digunakan untuk menegaskan batas fungsi aplikasi dan mencegah pengguna menafsirkan persentase CF sebagai kepastian diagnosis medis.

3.5.3 Arah Pengembangan

Pengembangan selanjutnya perlu memperluas data pengujian dan menjaga keseimbangan jumlah kasus pada setiap kategori. Pengumpulan kasus perlu dilakukan dengan prosedur yang jelas dan memperoleh persetujuan serta perlindungan data yang sesuai. Validasi basis pengetahuan juga perlu melibatkan lebih dari satu pakar agar gejala, bobot MB dan MD, serta rekomendasi penanganan tidak hanya bergantung pada satu sudut pandang. Perbedaan pendapat antar pakar dapat dianalisis untuk memperbaiki konsistensi aturan.

Pengembangan lain dapat mencakup penyempurnaan informasi edukasi, riwayat hasil identifikasi, dan akses melalui perangkat bergerak. Jika fitur riwayat ditambahkan, pengelolaan data anak harus memperhatikan prinsip minimisasi data, pembatasan akses, keamanan penyimpanan, serta persetujuan yang sesuai. Fitur tambahan tersebut sebaiknya tidak mengubah batas utama sistem sebagai sarana informasi dan identifikasi awal. Evaluasi usability juga dapat dilakukan untuk mengetahui apakah pertanyaan dan rekomendasi mudah dipahami oleh orang tua maupun guru.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menghasilkan sistem pakar berbasis web untuk mendukung identifikasi awal ADHD pada anak dan menyediakan rekomendasi penanganan awal. Sistem menggunakan basis pengetahuan yang terdiri atas 27 gejala dan tiga kategori, yaitu Inatentif, Hiperaktif-Impulsif, dan Kombinasi. Metode Certainty Factor diterapkan dengan menggabungkan nilai MB dan MD dari pakar dengan tingkat keyakinan pengguna. Aplikasi dibangun menggunakan ReactJS, ExpressJS, dan PostgreSQL. Pengujian Black-Box menunjukkan bahwa skenario fungsi yang diuji berjalan sesuai harapan, sedangkan pengujian White-Box pada fungsi calculateCF() menunjukkan bahwa jalur yang diperiksa mengikuti logika yang dirancang. Perbandingan dengan penilaian pakar menghasilkan sembilan kesesuaian dari sepuluh kasus uji atau 90%. Penelitian selanjutnya perlu memperluas jumlah data uji, menyeimbangkan jumlah kasus pada setiap kategori, serta melakukan validasi basis pengetahuan dengan lebih dari satu pakar. Sistem ini berfungsi sebagai sarana informasi dan identifikasi awal, bukan pengganti pemeriksaan atau diagnosis klinis.

DAFTAR PUSTAKA

[1] American Psychiatric Association, Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders, 5th ed. Arlington, VA, USA: American Psychiatric Publishing, 2013.

[2] N. Salari et al., “The global prevalence of ADHD in children and adolescents: A systematic review and meta-analysis,” Italian Journal of Pediatrics, vol. 49, no. 1, pp. 1–12, 2023, doi: 10.1186/s13052-023-01456-1.

[3] M. Alkaff, H. Khatimi, Y. Sari, P. Darmawan, and R. Primananda, “Sistem pakar berbasis Android untuk mendeteksi jenis perilaku ADHD pada anak,” Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer, vol. 6, no. 2, pp. 135–140, 2019, doi: 10.25126/jtiik.201961265.

[4] Y. Yanti, Z. Zainal, F. Susilawati, M. Munawir, and A. A. Luqmana, “Sistem pakar diagnosa penyakit Attention Deficit Hiperactivity Disorder menggunakan metode Certainty Factor berbasis web,” Jurnal Nasional Komputasi dan Teknologi Informasi, vol. 5, no. 6, pp. 1084–1091, 2023, doi: 10.32672/jnkti.v5i6.5558.

[5] F. Suryani and A. Iswardani, “Sistem deteksi dini jenis perilaku Attention Deficit Hyperactivity Disorder berdasarkan Diagnostic and Statistical Manual of Mental Disorders,” Jurnal Informatika Upgris, vol. 4, no. 1, pp. 72–86, 2019.

[6] A. D. Gumay, H. L. Sari, and I. Y. Beti, “Expert system for early detection of Attention Deficit Hyperactive Disorder (ADHD) at Soeprapto Psychiatric Hospital using the Certainty Factor method,” Jurnal Media Computer Science, vol. 5, no. 1, pp. 277–290, 2026, doi: 10.37676/jmcs.v5i1.9110.

[7] S. Jaya, “Penerapan metode Certainty Factor dalam mendiagnosa dini gangguan pemusatan perhatian dan hiperaktivitas pada anak,” Buletin Ilmiah Informatika Teknologi, vol. 1, no. 1, pp. 28–31, 2022.

[8] F. F. Rohman and A. Fauzijah, “Rancang bangun aplikasi sistem pakar untuk menentukan jenis gangguan perkembangan pada anak,” Media Informatika, vol. 6, pp. 1–23, 2008.

[9] P. Krause and D. Clark, “The Certainty Factor model,” in Representing Uncertain Knowledge, pp. 52–67, 1993, doi: 10.1007/978-94-011-2084-5_3.

[10] S. Nidhra and J. Dondeti, “Black box and white box testing techniques: A literature review,” International Journal of Embedded Systems and Applications, vol. 2, no. 2, pp. 29–50, 2012.

[11] Y. Wahyudin and D. N. Rahayu, “Analisis metode pengembangan sistem informasi berbasis website: A literature review,” Jurnal Interkom, vol. 15, no. 3, pp. 26–40, 2020, doi: 10.35969/interkom.v15i3.74.

[12] K. Muludi, R. Suharjo, A. Syarif, and F. Ramadhani, “Implementation of Forward Chaining and Certainty Factor method on Android-based expert system of tomato diseases identification,” International Journal of Advanced Computer Science and Applications, vol. 9, no. 9, pp. 451–456, 2018, doi: 10.14569/ijacsa.2018.090957.

[13] M. I. Abas, D. W. Nugraha, A. Asminar, and I. Isminarti, “Systematic literature review of expert system,” TIN: Terapan Informatika Nusantara, vol. 3, no. 12, pp. 497–502, 2023, doi: 10.47065/tin.v3i12.4136.

[14] M. Z. Al Amin, A. Solichan, A. P. Ramdani, B. Ansor, N. C. Sari, and K. Elsami, “Pengembangan sistem pakar untuk mendiagnosis gangguan perkembangan anak dengan metode Certainty Factor,” Jurnal Sains dan Ilmu Terapan, vol. 7, no. 1, pp. 20–31, 2024, doi: 10.59061/jsit.v7i1.882.

[15] R. R. Rahayu, “Penerapan metode Certainty Factor dalam mendiagnosa gangguan perkembangan anak,” Journal Informatics, Science & Technology, vol. 8, no. 2, 2018.

[16] Z. A. Abdallah and J. Sutresna, “Implementasi sistem pakar untuk mendiagnosis gangguan Attention Deficit Hyperactivity Disorder (ADHD) pada orang dewasa,” vol. 6, no. 4, pp. 82–94, 2025.

[17] J. L. Filho and J. L. Braga, “UML: Unified Modeling Language,” in Encyclopedia of GIS, pp. 2345–2346, 2017, doi: 10.1007/978-3-319-17885-1_1419.

[18] PostgreSQL Global Development Group, “PostgreSQL documentation,” 2026. [Online]. Available: https://www.postgresql.org/docs/current/.

[19] Docker Inc., “Docker overview,” 2026. [Online]. Available: https://docs.docker.com/get-started/docker-overview/.

[20] Meta Open Source, “Learn React,” accessed Sep. 27, 2026. [Online]. Available: https://react.dev/learn.

[21] Mozilla Developer Network, “Express web framework (Node.js/JavaScript),” 2025. [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Learn_web_development/Extensions/Server-side/Express_Nodejs.

[22] Mozilla Developer Network, “JavaScript guide,” 2025. [Online]. Available: https://developer.mozilla.org/en-US/docs/Web/JavaScript/Guide.

[23] Scikit-learn Developers, “Metrics and scoring: Quantifying the quality of predictions,” 2026. [Online]. Available: https://scikit-learn.org/stable/modules/model_evaluation.html.

[24] S. Suwita, W. N. Fadli, A. Suhendra, and F. Z. Sulthoni, “Implementation of Waterfall method in designing website-based discussion forums,” International Journal of Design, vol. 3, 2023.

[25] L. Hakim, A. Sobri, L. Sunardi, and D. Nurdiansyah, “Prediksi penyakit jantung berbasis mesin learning dengan menggunakan metode K-NN,” Jurnal Digital Teknologi Informasi, vol. 7, no. 2, 2025.

[26] Niki Ratama, Imam Riadi, Herman Herman, “Integration of Fuzzy AHP and Ensemble Deep Neural Networks for Multi-Factor Metabolic Syndrome Risk Prediction”.

[27] Niki Ratama, Imam Riadi, Herman Herman, “Model Prediksi Risiko Sindrom Metabolik Menggunakan Pendekatan Fuzzy Analytical Hierarchy Process”, vol. 10, no. 2, 2026.

[28] Munawaroh Munawaroh, Niki Ratama, Resty Amalia, “Implementasi Chatbot Ai Sebagai Asisten Virtual Dalam Meningkatkan Efektivitas Pembelajaran Di Sekolah Menengah”, vol. 5, no. 1, 2026.