

Perancangan *Confusion-Aware Adaptive User Interface* Berbasis Kombinasi Ekspresi Wajah dan Pola Navigasi Pengguna Pada Website Edukasi untuk Anak Berkebutuhan Khusus

^{1*} Dzaky Fawwaz Ramadhan, ² Randi Proska Sandra, ³ Agariadne Dwinggo Samala, ⁴ Khairi Budayawan

^{1,2,3,4} Program Studi Informatika, Departemen Teknik Elektronika, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Jl. Prof. Dr. Hamka, Air Tawar Barat, Kec. Padang Utara, Padang, Sumatera Barat, Indonesia

*Corresponding Author e-mail: dzakyfawwaz2003@gmail.com

Received: May 2026; Revised: June 2026; Published: July 2026

Abstrak

Perkembangan teknologi informasi mendorong penggunaan website edukasi sebagai media pembelajaran interaktif. Namun, sebagian besar website edukasi masih dirancang dengan antarmuka statis yang belum mempertimbangkan karakteristik pengguna, terutama anak berkebutuhan khusus (ABK), sehingga berpotensi menimbulkan kebingungan dan hambatan belajar. Penelitian ini bertujuan merancang *Confusion-Aware Adaptive User Interface* berbasis kombinasi ekspresi wajah dan pola navigasi pengguna pada website edukasi untuk ABK. Sistem dikembangkan menggunakan metode Prototype Model dengan lima tahapan iteratif (Communication, Quick Plan, Modeling Quick Design, Construction of Prototype, Deployment Delivery & Feedback) dan pendekatan rule-based untuk menentukan adaptasi antarmuka. Deteksi ekspresi wajah menggunakan kombinasi MediaPipe dan Facial Emotion Recognition (FER), sementara pola navigasi dianalisis berdasarkan jumlah klik, salah klik, dan durasi halaman. Pengujian *Confusion-Aware Engine* dilakukan pada 8 skenario yang mengombinasikan berbagai kondisi ekspresi wajah dan pola navigasi untuk memastikan akurasi klasifikasi kondisi pengguna (normal, cemas, bingung). Hasil pengujian fungsional dengan Black Box Testing menunjukkan seluruh fitur sistem berjalan sesuai rancangan. Pengujian *Confusion-Aware Engine* pada 8 skenario menunjukkan akurasi klasifikasi kondisi pengguna (normal, cemas, bingung) sebesar 100% dengan penerapan UI adaptif yang konsisten. Sistem berhasil mengidentifikasi siswa melalui validasi kode unik berbasis sekolah, menampilkan materi dinamis sesuai kategori hewan (darat, laut, udara), serta menyediakan rekap hasil belajar lengkap dengan fitur ekspor PDF dan Excel. Kontribusi praktis sistem ini bagi guru adalah menyediakan alat bantu untuk memantau kondisi emosional siswa secara real-time dan menyesuaikan tampilan pembelajaran secara otomatis, sementara bagi siswa ABK, sistem memberikan pengalaman belajar yang lebih nyaman dan sesuai dengan kondisi mereka. Penelitian ini berkontribusi pada pengembangan teknologi pembelajaran inklusif melalui antarmuka adaptif yang responsif terhadap kondisi pengguna secara real-time.

Kata kunci: *Confusion-Aware System*, *Adaptive User Interface*, Website Edukasi, Ekspresi Wajah, Pola Navigasi, Anak Berkebutuhan Khusus.

How to Cite: Ramadhan, D.F., Sandra, R.P., Samala, A. D., & Budayawan, K. (2026). Perancangan *Confusion-Aware Adaptive User Interface* Berbasis Kombinasi Ekspresi Wajah dan Pola Navigasi Pengguna pada Website Edukasi untuk Anak Berkebutuhan Khusus. *Journal of Authentic Research*, 5(2), 4075–4091. <https://doi.org/10.36312/rct91846>



<https://doi.org/10.36312/rct91846>

Copyright© 2026, Ramadhan et al.

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



PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah memberikan dampak yang signifikan dalam berbagai bidang, termasuk pendidikan (Permana et al., 2024). Teknologi informasi dan komunikasi telah mengubah lanskap pendidikan

dengan menyediakan akses yang lebih luas terhadap sumber belajar, memungkinkan pembelajaran jarak jauh, serta mendukung terciptanya pengalaman belajar yang lebih interaktif dan personal (Talakua & Pekuwali, 2023; Salam & Ramadhan, 2025). Salah satu bentuk pemanfaatan teknologi dalam bidang pendidikan adalah penggunaan website edukasi sebagai media pembelajaran yang interaktif dan fleksibel, sehingga dapat diakses kapan saja dan di mana saja (Permana et al., 2024). Website edukasi memungkinkan penyampaian materi dalam berbagai bentuk multimedia, seperti teks, gambar, dan audio, yang dapat membantu meningkatkan pemahaman peserta didik terhadap materi pembelajaran (Talakua & Pekuwali, 2023). Dalam praktiknya, website edukasi sering digunakan untuk menyampaikan materi pembelajaran dasar, seperti pengenalan objek, lingkungan sekitar, maupun pengenalan hewan. Materi tersebut dipilih karena bersifat visual dan konkret sehingga lebih mudah dipahami, terutama oleh anak-anak (Salam & Ramadhan, 2025). Penyajian materi melalui gambar dan informasi sederhana memungkinkan pengguna memahami objek pembelajaran secara lebih intuitif (Ranisayah et al., 2025). Dalam konteks ini, website edukasi pengenalan hewan menjadi salah satu media yang efektif karena mampu menyajikan representasi visual hewan yang disertai dengan penjelasan dasar mengenai nama dan karakteristiknya sehingga mendukung proses belajar yang lebih menarik dan mudah dipahami. Data dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi menunjukkan bahwa jumlah anak berkebutuhan khusus (ABK) di Indonesia terus meningkat setiap tahunnya, dengan lebih dari 2,5 juta anak tercatat sebagai ABK pada tahun 2024, sementara secara global, UNESCO memperkirakan bahwa sekitar 15% dari populasi dunia merupakan penyandang disabilitas, yang sebagian besar adalah anak-anak usia sekolah. Angka ini menggarisbawahi urgensi pengembangan media pembelajaran yang inklusif dan adaptif untuk memenuhi kebutuhan mereka.

Namun demikian, banyak website edukasi yang masih dirancang dengan pendekatan antarmuka yang bersifat umum tanpa mempertimbangkan perbedaan karakteristik pengguna (Purnamasari & Ramadhan, 2025). Website edukasi seperti Rumah Belajar, Ruangguru, dan Zenius pada umumnya masih menggunakan desain antarmuka yang ditujukan untuk pengguna secara umum dan belum sepenuhnya memperhatikan kebutuhan anak berkebutuhan khusus (ABK), termasuk anak dengan gangguan spektrum autisme (Fitria, 2025). Desain antarmuka yang terlalu kompleks, informasi yang berlebihan, serta navigasi yang tidak jelas dapat menyebabkan kesulitan dalam memahami informasi dan menggunakan sistem (Muttaqin et al., 2025). Permasalahan ini menjadi lebih signifikan ketika website edukasi digunakan oleh anak dengan gangguan spektrum autisme yang memiliki karakteristik khusus dalam hal pemusatan perhatian, pemrosesan informasi, serta interaksi dengan lingkungan. Anak dengan autisme (*Autism Spectrum Disorder/ASD*) adalah kondisi neurodevelopmental yang ditandai dengan kesulitan dalam komunikasi sosial dan interaksi sosial, serta perilaku, minat, atau aktivitas yang terbatas dan berulang (Radočaj & Martinović, 2025). Anak dengan autisme cenderung mengalami kesulitan dalam memahami tampilan yang kompleks dan alur navigasi yang tidak terstruktur, informasi yang terlalu banyak dalam satu waktu, penggunaan elemen visual yang berlebihan, serta kurangnya petunjuk yang jelas dapat menimbulkan kebingungan selama proses interaksi dengan sistem (Setyoningrum et al., 2024). Kondisi tersebut dapat menghambat proses pembelajaran, menurunkan fokus, serta mengurangi

minat belajar pengguna. Tantangan spesifik yang dihadapi ABK dalam menggunakan website edukasi meliputi kesulitan memproses informasi yang disajikan secara simultan, sensitivitas terhadap rangsangan visual dan auditori yang berlebihan, kebutuhan akan struktur dan prediktabilitas yang tinggi, serta kecenderungan untuk mengalami kecemasan atau frustrasi ketika menghadapi alur navigasi yang tidak jelas (Putri & Saidah, 2024; Setyoningrum et al., 2024).

Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan untuk mengatasi permasalahan tersebut adalah penggunaan Adaptive User Interface (AUI). Antarmuka adaptif memungkinkan sistem untuk menyesuaikan tampilan dan cara interaksi berdasarkan kondisi serta respons pengguna (Krstić et al., 2025). Penerapan pendekatan ini pada website edukasi diharapkan dapat memberikan pengalaman belajar yang lebih personal, mudah dipahami, dan sesuai dengan kebutuhan anak dengan autisme. Prinsip-prinsip desain antarmuka untuk ABK yang dikemukakan oleh Setyoningrum et al. (2024) dan Putri & Saidah (2024) menekankan pentingnya kesederhanaan visual, penggunaan warna yang tidak berlebihan, konsistensi tata letak dan navigasi, penyediaan petunjuk yang jelas dan eksplisit, serta adanya elemen visual yang mendukung pemahaman tanpa menimbulkan beban kognitif berlebihan. Selain itu, penggunaan ikon dan gambar yang familiar, serta penyediaan umpan balik (feedback) yang langsung dan positif, merupakan elemen kunci dalam merancang antarmuka yang ramah bagi ABK. Dalam konteks interaksi pengguna, kebingungan (*confusion*) merupakan salah satu kondisi yang penting untuk diperhatikan. Kebingungan dapat muncul ketika pengguna mengalami kesulitan dalam memahami tampilan antarmuka atau alur navigasi sistem. Namun, sebagian besar website edukasi saat ini belum memiliki mekanisme untuk mengenali indikasi kebingungan pengguna selama proses interaksi berlangsung. Pendekatan *confusion-aware* digunakan untuk mengidentifikasi indikasi kebingungan pengguna berdasarkan respons yang muncul selama interaksi, seperti ekspresi wajah dan pola navigasi pengguna (Medjden et al., 2020). Ekspresi wajah dapat memberikan gambaran mengenai kondisi emosional pengguna ketika mengalami kesulitan dalam memahami informasi, sedangkan pola navigasi pengguna dapat menunjukkan adanya keraguan atau ketidakpastian dalam menggunakan sistem (Hidayat et al., 2025).

Pemanfaatan ekspresi wajah dan pola navigasi pengguna sebagai indikator kebingungan masih belum banyak diterapkan pada website edukasi, khususnya untuk anak berkebutuhan khusus (Febrianti et al., 2025). Penelitian terkait penerapan adaptive user interface yang mampu merespons kondisi kebingungan pengguna secara langsung masih terbatas, terutama pada website edukasi berbasis web untuk anak dengan gangguan spektrum autisme. Beberapa penelitian telah dilakukan di bidang ini, namun masing-masing memiliki fokus dan keterbatasan yang berbeda. Medjden et al. (2020) berhasil mengembangkan antarmuka adaptif berbasis pengenalan emosi melalui ekspresi wajah dan postur tubuh, tetapi belum mengintegrasikan pola navigasi sebagai indikator tambahan. Wang et al. (2022) melakukan tinjauan sistematis tentang affective computing dan menyoroti pentingnya pendekatan multimodal, namun belum mengimplementasikannya dalam konteks edukasi untuk ABK. Krstić et al. (2025) meneliti machine learning untuk antarmuka aksesibel adaptif, tetapi fokus pada populasi umum bukan ABK. Hadimlioglu & Linga (2025) mengembangkan sistem Face2Feel untuk antarmuka

adaptif berbasis emosi, namun belum ditujukan khusus untuk kebutuhan ABK. Radočaj & Martinović (2025) menggunakan deep learning untuk pengenalan emosi pada anak autis, namun pendekatan mereka masih terbatas pada deteksi emosi tanpa mekanisme adaptasi antarmuka yang terintegrasi. Sebagian besar website edukasi masih menggunakan tampilan yang statis dan belum mampu melakukan penyesuaian antarmuka secara adaptif berdasarkan kondisi pengguna selama proses pembelajaran berlangsung. Perbedaan utama penelitian ini dengan penelitian sebelumnya terletak pada integrasi multimodal indikator kebingungan (ekspresi wajah dan pola navigasi) dalam satu sistem antarmuka adaptif yang dirancang khusus untuk ABK dengan pendekatan rule-based yang terkontrol, serta adanya mekanisme penguncian mode UI per sesi untuk menjaga konsistensi pengalaman pengguna--sebuah aspek yang masih jarang dibahas dalam literatur AUI untuk ABK. Padahal, mekanisme penyesuaian antarmuka berbasis kombinasi ekspresi wajah dan pola navigasi pengguna yang sederhana dan terkontrol dapat membantu mengurangi kebingungan, meningkatkan fokus belajar, serta memberikan pengalaman belajar yang lebih nyaman dan efektif. Kesenjangan antara potensi teknologi adaptif dan implementasinya pada platform pembelajaran untuk ABK menjadi motivasi utama penelitian ini.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini berfokus pada perancangan *Confusion-Aware Adaptive User Interface* berbasis kombinasi ekspresi wajah dan pola navigasi pengguna pada website edukasi pengenalan hewan untuk anak berkebutuhan khusus. Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah: (1) Bagaimana merancang *Confusion-Aware Adaptive User Interface* pada website edukasi yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan anak berkebutuhan khusus? (2) Bagaimana mengembangkan mekanisme untuk mengenali indikasi kebingungan pengguna berdasarkan kombinasi ekspresi wajah dasar dan pola navigasi? (3) Bagaimana menerapkan penyesuaian antarmuka secara adaptif berbasis aturan (rule-based) untuk menghasilkan website edukasi yang lebih mudah digunakan dan ramah bagi ABK? Penelitian ini bertujuan untuk: (1) merancang *Confusion-Aware Adaptive User Interface* pada website edukasi yang sesuai dengan karakteristik dan kebutuhan anak berkebutuhan khusus; (2) mengembangkan mekanisme untuk mengenali indikasi kebingungan pengguna berdasarkan kombinasi ekspresi wajah dasar dan pola navigasi; serta (3) menerapkan penyesuaian antarmuka secara adaptif berbasis aturan (rule-based) untuk menghasilkan website edukasi yang lebih mudah digunakan dan ramah bagi ABK. Dengan demikian, state of the art penelitian ini adalah integrasi multimodal indikator kebingungan (ekspresi wajah dan pola navigasi) dalam satu sistem antarmuka adaptif untuk ABK dengan pendekatan rule-based yang sederhana namun efektif, berbeda dengan pendekatan deep learning kompleks yang banyak digunakan dalam penelitian sebelumnya. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi multimodal indikator kebingungan (ekspresi wajah dan pola navigasi) dalam satu sistem antarmuka adaptif yang dirancang khusus untuk ABK dengan pendekatan rule-based yang terkontrol. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi bagi pengembangan teknologi pembelajaran inklusif yang lebih responsif terhadap kebutuhan pengguna, sekaligus menjadi referensi bagi pengembang sistem edukasi digital dalam merancang antarmuka yang adaptif dan ramah bagi anak berkebutuhan khusus.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan Prototype Model sebagaimana dikemukakan oleh Pressman (2014). Pemilihan metode ini didasarkan pada karakteristik sistem website edukasi yang menerapkan confusion-aware adaptive user interface, di mana sistem harus mampu menyesuaikan tampilan antarmuka berdasarkan kondisi pengguna yang berbeda-beda, khususnya anak berkebutuhan khusus. Sistem ini melibatkan integrasi beberapa komponen, seperti deteksi ekspresi wajah, pencatatan pola navigasi pengguna, serta mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan, sehingga diperlukan proses pengembangan yang fleksibel dan iteratif. Siklus pengembangan sistem dengan metode Prototype Model dalam penelitian ini meliputi lima tahapan iteratif, yaitu Communication, Quick Plan, Modeling Quick Design, Construction of Prototype, serta Deployment Delivery & Feedback. Tahapan-tahapan tersebut dilakukan secara berulang hingga sistem yang dikembangkan memenuhi kebutuhan fungsional dan non-fungsional serta mampu mendukung penerapan confusion-aware adaptive user interface pada website edukasi untuk anak berkebutuhan khusus.

Tahap Komunikasi (Communication)

Tahap komunikasi merupakan tahap awal dalam metode Prototype yang bertujuan untuk memahami permasalahan dan kebutuhan pengguna terhadap sistem yang akan dikembangkan (Syarif & Risdiansyah, 2024). Pada tahap ini dilakukan identifikasi karakteristik pengguna, yaitu anak berkebutuhan khusus, serta tujuan utama sistem pembelajaran adaptif berbasis confusion-aware. Kegiatan pada tahap ini meliputi studi literatur terkait pembelajaran adaptif, confusion-aware system, serta teknologi computer vision untuk deteksi ekspresi wajah. Analisis kebutuhan sistem pada penelitian ini dibagi menjadi dua bagian, yaitu kebutuhan fungsional dan kebutuhan non-fungsional. Kebutuhan fungsional meliputi 13 fungsi utama sistem seperti menampilkan website edukasi, form data pengguna, aktivasi kamera, deteksi ekspresi wajah, pencatatan pola navigasi, penggabungan indikator menggunakan Confusion-Aware Engine, klasifikasi kondisi pengguna, penentuan dan penguncian jenis antarmuka, serta penampilan materi, latihan, dan hasil. Kebutuhan non-fungsional dirumuskan dengan mengacu pada prinsip-prinsip Web Content Accessibility Guidelines (WCAG), khususnya pada aspek Perceivable, Operable, dan Understandable, agar sistem dapat digunakan secara lebih inklusif oleh anak berkebutuhan khusus.

Tahap Perencanaan Cepat (Quick Plan)

Tahap Perencanaan Cepat bertujuan untuk merumuskan gambaran awal sistem secara cepat sebelum masuk ke tahap pemodelan desain yang lebih rinci (Syahputra et al., 2022). Pada penelitian ini, tahap Quick Plan digunakan untuk merencanakan sistem website edukasi berbasis confusion-aware adaptive user interface yang ditujukan bagi anak berkebutuhan khusus. Perencanaan difokuskan pada arsitektur sistem, alur kerja sistem, dan stack teknologi. Arsitektur sistem usulan menggambarkan komponen utama sistem yang terdiri dari antarmuka pengguna, modul deteksi ekspresi wajah, modul pencatatan pola navigasi, Confusion-Aware Engine, dan modul antarmuka adaptif. Teknologi yang direncanakan meliputi HTML, CSS, dan JavaScript untuk frontend, Python Flask untuk backend, MySQL

untuk database, serta MediaPipe dan Facial Emotion Recognition (FER) untuk deteksi ekspresi wajah.

Tahap Pemodelan Desain Cepat (Modeling Quick Design)

Tahap ini mencakup perancangan Unified Modeling Language (UML) yang terdiri dari flowchart pengguna, flowchart guru, flowchart sistem, use case diagram, activity diagram, dan sequence diagram (Choirunnisa et al., 2025). Perancangan skema basis data dilakukan menggunakan Entity Relationship Diagram (ERD) dengan 11 tabel utama: *users*, *learning_sessions*, *facial_expression*, *navigation_logs*, *confusion_analysis*, *exercise_results*, *ui_adaptations*, *materials*, *questions*, *classes*, dan *schools*. Perancangan Confusion-Aware Engine menggunakan pendekatan rule-based dengan 6 aturan klasifikasi yang mengombinasikan ekspresi wajah (netral, takut, marah) dan pola navigasi (normal/tidak stabil/tidak efisien) untuk menghasilkan tiga kondisi pengguna: netral, cemas, dan bingung. Perancangan mockup antarmuka mencakup 11 halaman utama dengan tiga mode UI: UI Normal, UI Adaptif Cemas, dan UI Adaptif Bingung.

Tahap Konstruksi Prototipe (Construction of Prototype)

Tahap konstruksi prototipe merupakan fase realisasi teknis di mana rancangan sistem diterjemahkan ke dalam bentuk sistem yang dapat dijalankan (Syarif & Risdiansyah, 2024). Implementasi antarmuka website dilakukan berdasarkan mockup yang telah dirancang dengan memperhatikan prinsip kesederhanaan, kejelasan, dan kemudahan penggunaan. Modul deteksi ekspresi wajah dibangun menggunakan MediaPipe untuk deteksi wajah dan FER untuk klasifikasi emosi dasar. Modul pencatatan pola navigasi mengimplementasikan pencatatan jumlah klik, salah klik, dan durasi halaman menggunakan JavaScript. Confusion-Aware Engine diimplementasikan pada file *decision.py* dengan logika aturan yang telah dirancang. Basis data diimplementasikan menggunakan MySQL dengan struktur sesuai ERD.

Tahap Penyerahan dan Umpan Balik (Testing & Feedback)

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode Black Box Testing untuk menguji 9 aspek fungsional sistem (Nugraha et al., 2025). Pengujian non-fungsional dilakukan menggunakan accessibility testing dengan 8 aspek yang dievaluasi. Pengujian Confusion-Aware Engine dilakukan dengan 8 skenario yang mengombinasikan ekspresi wajah dan pola navigasi untuk memastikan akurasi klasifikasi kondisi pengguna. Pengujian juga dilakukan terhadap validasi kode unik berbasis sekolah, materi dinamis, detail historis siswa, dan fitur ekspor PDF dan Excel.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Deteksi Ekspresi Wajah

Implementasi modul deteksi ekspresi wajah berhasil diintegrasikan ke dalam sistem website edukasi Sahabat KIE. Proses deteksi diawali dengan aktivasi kamera melalui file *webcam.js* yang mengambil frame dari kamera browser dan mengirimkannya ke backend melalui endpoint */api/detect-expression*. Pada sisi backend, file *detector.py* memproses gambar menggunakan OpenCV untuk mendeteksi keberadaan wajah, kemudian menggunakan FER untuk mengenali

ekspresi wajah pengguna. Ekspresi yang diperoleh dipetakan ke dalam indikator kondisi pengguna: ekspresi *neutral* dan *happy* dipetakan sebagai kondisi normal, ekspresi *fear* dan *sad* sebagai indikator cemas, serta ekspresi *angry* dan *disgust* sebagai indikator bingung atau frustrasi.

Tabel 1. Pemetaan Ekspresi Wajah ke Indikator Kondisi Pengguna

Ekspresi FER	Indikator Kondisi	Keterangan
Neutral, Happy	Normal	Pengguna dalam kondisi stabil
Fear, Sad	Cemas	Indikasi kecemasan/keraguan
Angry, Disgust	Bingung	Indikasi frustrasi/kebingungan

Hasil deteksi ekspresi wajah disimpan pada tabel *Facial_Expression* yang mencakup *session_id*, *expression_label*, *confidence*, dan *timestamp*. Sistem tidak menyimpan gambar wajah secara langsung, melainkan hanya menyimpan hasil klasifikasi berupa label ekspresi dan nilai kepercayaan (*confidence score*). Pendekatan ini dipilih untuk menjaga privasi pengguna sekaligus memastikan efisiensi penyimpanan data. Pengujian deteksi ekspresi wajah pada 5 skenario (aktivasi kamera, deteksi wajah, ekspresi netral, ekspresi cemas, dan ekspresi marah) menunjukkan bahwa kamera berhasil aktif pada halaman form data dan sistem dapat mendeteksi keberadaan wajah pengguna dengan baik. Hasil ekspresi wajah kemudian digunakan sebagai data pendukung dalam proses analisis kondisi pengguna oleh Confusion-Aware Engine.

Hasil Pencatatan Pola Navigasi Pengguna

Modul pencatatan pola navigasi berhasil mengimplementasikan pencatatan tiga indikator interaksi pengguna: jumlah klik, jumlah salah klik, dan durasi halaman. Pencatatan dilakukan pada halaman form data (input sekolah dan kode unik, serta scanning wajah siswa) karena halaman tersebut merupakan tahap awal interaksi sebelum pengguna masuk ke proses pembelajaran. Implementasi dilakukan pada file *navigation.js* yang mencatat aktivitas pengguna dan mengirim data ke backend melalui endpoint */api/analyze-confusion*. Data yang tercatat meliputi nama halaman, jumlah klik, jumlah salah klik, dan durasi pengguna berada pada halaman.

Tabel 2. Hasil Pencatatan Pola Navigasi pada Tabel *Navigation_Logs*

Session ID	Page Name	Click Count	Wrong Click	Duration (s)	Timestamp
1	input_kode	3	0	20	2026-06-15 08:30:15
1	scanning_wajah	1	0	45	2026-06-15 08:30:40
2	input_kode	12	4	145	2026-06-15 09:15:22
2	scanning_wajah	2	1	60	2026-06-15 09:17:50

Berdasarkan hasil pengujian pola navigasi pada 4 skenario, sistem berhasil mencatat seluruh indikator interaksi pengguna. Jumlah klik digunakan untuk melihat intensitas interaksi pengguna, salah klik digunakan untuk mengetahui apakah pengguna mengalami kesulitan dalam memilih elemen yang benar, dan durasi halaman digunakan untuk melihat apakah pengguna membutuhkan waktu terlalu lama dalam menyelesaikan tahap form data. Data pola navigasi yang terkumpul kemudian dikirimkan ke Confusion-Aware Engine bersama dengan hasil deteksi ekspresi wajah untuk menentukan kondisi awal pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat membedakan pola navigasi normal (3-5 klik, 0-1 salah klik, durasi 20-60 detik) dari pola navigasi tidak stabil (12-15 klik, 4-5 salah klik, durasi 145-300 detik) yang mengindikasikan kemungkinan kebingungan pengguna.

Hasil Rule-Based Confusion-Aware Engine

Confusion-Aware Engine berbasis rule-based diimplementasikan pada file decision.py yang menerima input berupa ekspresi wajah, jumlah klik, jumlah salah klik, dan durasi halaman. Berdasarkan input tersebut, sistem menentukan kondisi pengguna menjadi normal, cemas, atau bingung menggunakan aturan klasifikasi yang telah dirancang. Hasil dari proses rule-based engine disimpan pada tabel confusion_analysis yang mencakup expression_result, navigation_result, final_decision, dan rule_applied.

Tabel 3. Aturan Klasifikasi Confusion-Aware Engine

No	Ekspresi Wajah	Pola Navigasi Awal	Kondisi Pengguna	Jenis Antarmuka
1	Netral	Navigasi normal (klik wajar & durasi wajar)	Netral	UI Normal
2	Takut	Navigasi normal	Cemas	UI Adaptif Cemas
3	Netral	Navigasi tidak stabil (klik tinggi / durasi lama)	Cemas	UI Adaptif Cemas
4	Takut	Navigasi tidak stabil	Cemas	UI Adaptif Cemas
5	Marah	Navigasi tidak efisien	Bingung	UI Adaptif Bingung
6	Marah	Navigasi normal	Bingung	UI Adaptif Bingung

Pengujian Confusion-Aware Engine dilakukan dengan 8 skenario yang mengombinasikan berbagai kondisi ekspresi wajah dan pola navigasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil mengklasifikasikan kondisi pengguna sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan dengan akurasi 100%.

Tabel 4. Hasil Pengujian Rule-Based Engine (8 Skenario)

No	Ekspresi	Jumlah Klik	Salah Klik	Durasi (s)	Hasil yang diharapkan	Status
1	Neutral	3	0	20	Normal	Berhasil
2	Fear	4	1	23	Cemas	Berhasil
3	Sad	6	2	60	Cemas	Berhasil
4	Neutral	14	4	145	Bingung	Berhasil
5	Angry	10	4	80	Bingung	Berhasil
6	Neutral	20	9	90	Bingung	Berhasil

7	Fear	3	0	18	Cemas	Berhasil
8	Marah	12	5	120	Bingung	Berhasil

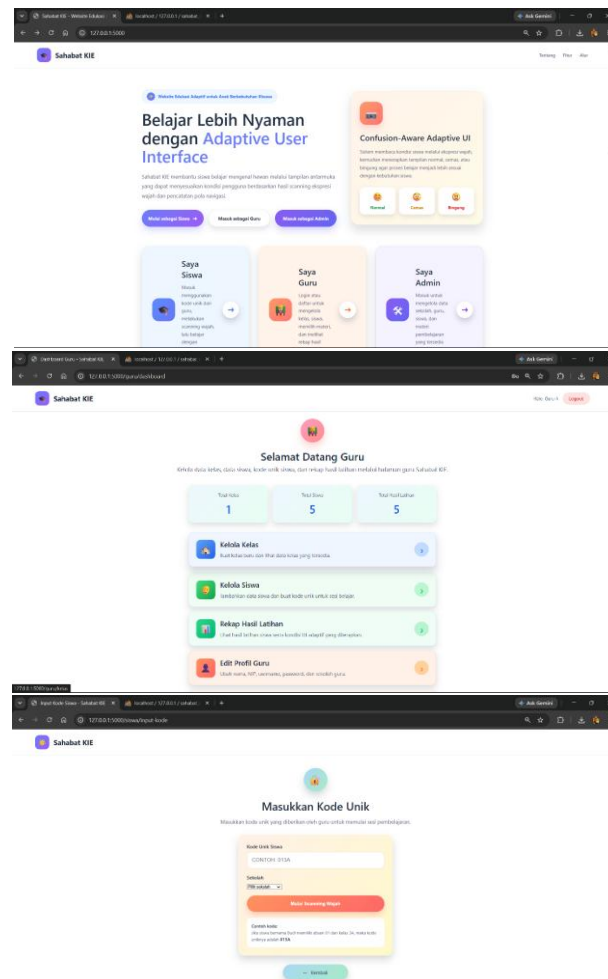
Hasil pengujian menunjukkan bahwa rule-based engine dapat membedakan kondisi normal, cemas, dan bingung berdasarkan nilai ekspresi wajah, jumlah klik, salah klik, dan durasi halaman. Pola navigasi normal ditandai dengan 3-5 klik, 0-1 salah klik, dan durasi 20-60 detik, sedangkan pola navigasi tidak stabil ditandai dengan 10-20 klik, 4-9 salah klik, dan durasi 80-145 detik. Kombinasi ekspresi fear/sad dengan pola navigasi tidak stabil menghasilkan klasifikasi cemas, sedangkan kombinasi ekspresi angry/marah dengan pola navigasi tidak efisien menghasilkan klasifikasi bingung.

Hasil Penguncian Mode Adaptive User Interface

Setelah Confusion-Aware Engine menentukan kondisi pengguna, sistem mengunci mode antarmuka yang sesuai untuk menjaga konsistensi tampilan selama proses pembelajaran dan latihan. Hasil kondisi pengguna disimpan pada variabel `adaptiveConditionLock` di sisi frontend dengan nilai normal, cemas, atau bingung. Nilai tersebut kemudian dibaca oleh halaman pembelajaran dan latihan untuk menentukan tampilan yang akan digunakan.

Tabel 5. Perbandingan UI Normal, UI Adaptif Cemas, dan UI Adaptif Bingung

Aspek UI	UI Normal	UI Adaptif Cemas	UI Adaptif Bingung
Tujuan UI	Pembelajaran Standar	Menenangkan & meningkatkan kenyamanan	Mengurangi beban Kognitif
Tampilan Visual	Standar	Ditambah elemen interaktif ringan	Sangat sederhana
Warna	Standar	Warna lembut & cerah	Standar
Elemen interaktif	Standar	Ditambah elemen interaktif ringan	Dikurangi
Petunjuk Visual	Standar	Lebih persuasif & suportif	Sangat jelas & Langsung
Jumlah Elemen	Normal	Tetap, tidak berlebihan	Sangat dibatasi
Fokus Pengguna	Materi	Kenyamanan & rasa aman	Pemahaman dasar
Kesesuaian WCAG	Dasar	Perceivable & Understandable	Operable & Understandable



Gambar 1. Implementasi Halaman Pemilihan Role, Dashboard Siswa, dan Halaman Input Sekolah & Kode Unik

Hasil pengujian adaptive user interface pada 4 skenario menunjukkan bahwa sistem berhasil menerapkan UI adaptif sesuai kondisi pengguna. UI normal ditampilkan untuk kondisi netral dengan tampilan standar dan informasi lengkap. UI adaptif cemas ditampilkan dengan tambahan pesan penenang, petunjuk visual yang lebih persuasif, serta elemen interaktif ringan untuk mengurangi kecemasan. UI adaptif bingung ditampilkan dengan penyederhanaan signifikan, pengurangan elemen visual, fokus pada konten utama, serta petunjuk yang sangat jelas dan langsung. Penguncian mode UI juga berhasil dilakukan sehingga tampilan pada halaman pembelajaran dan latihan tetap konsisten sampai sesi selesai.

Hasil Implementasi Website Sahabat KIE

Website Sahabat KIE berhasil dikembangkan dengan tiga role utama: admin, guru, dan siswa. Role admin berfungsi mengelola data utama sistem seperti sekolah, guru, siswa, materi, dan soal. Role guru berfungsi mengelola kelas, data siswa, pemilihan materi, kode unik siswa, rekap hasil latihan, detail historis siswa, serta ekspor data. Role siswa berfungsi mengakses pembelajaran, melakukan scanning wajah, mengerjakan latihan, dan melihat hasil latihan.

Validasi kode unik berdasarkan sekolah berhasil diimplementasikan dengan mekanisme kombinasi `school_id` dan `unique_code`. Sistem mencegah duplikasi kode unik pada sekolah yang sama namun mengizinkan kode unik yang sama digunakan pada sekolah berbeda. Hasil pengujian validasi kode unik pada 5 skenario menunjukkan bahwa sistem berhasil membedakan siswa berdasarkan kombinasi `school_id` dan `unique_code`, sehingga penggunaan kode unik menjadi lebih aman dan terstruktur.

Tabel 6. Hasil Pengujian Validasi Kode Unik Berdasarkan Sekolah

No	Skenario Pengujian	Hasil Yang Diharapkan	Status
1	Siswa memilih sekolah & memasukkan kode unik valid	Sistem menampilkan data siswa yang sesuai	Berhasil
2	Siswa memilih sekolah benar tetapi kode unik salah	Sistem menolak akses & menampilkan pesan kesalahan	Berhasil
3	Siswa memilih sekolah berbeda dengan kode unik sama	Sistem membaca data berdasarkan <code>school_id</code> yang dipilih	Berhasil
4	Guru membuat siswa dengan kode unik pada sekolah sama	Sistem mencegah duplikasi kode pada sekolah yang sama	Berhasil
5	Guru membuat siswa dengan kode unik sama pada sekolah berbeda	Sistem mengizinkan karena <code>school_id</code> berbeda	Berhasil

Hasil Materi Dinamis dan Latihan

Sistem mendukung materi pembelajaran dinamis dengan tiga kategori: Pengenalan dan Berhitung Hewan Darat, Pengenalan dan Berhitung Hewan Laut, dan Pengenalan dan Berhitung Hewan Udara. Penentuan materi dilakukan berdasarkan data `material_id` yang tersimpan pada data siswa. Ketika siswa berhasil masuk, sistem membaca `material_id` dan menampilkan materi serta soal yang sesuai.

Tabel 7. Data Materi dan Soal pada Sistem

Material ID	Nama Materi	Jumlah Soal	Tipe Soal
1	Pengenalan & Berhitung Hewan Darat	10	Recognition & Counting
2	Pengenalan & Berhitung Hewan Laut	10	Recognition & Counting
3	Pengenalan & Berhitung Hewan Udara	10	Recognition & Counting

Hasil pengujian materi dinamis pada 7 skenario menunjukkan bahwa sistem berhasil menampilkan materi dan soal secara dinamis berdasarkan data `material_id` siswa. Soal recognition menampilkan gambar hewan dengan jumlah sesuai `object_count`, sedangkan soal counting menampilkan beberapa gambar hewan untuk dihitung. Latihan terdiri dari soal pengenalan hewan (siswa memilih gambar hewan yang sesuai dengan pertanyaan) dan soal berhitung hewan (siswa menghitung jumlah gambar hewan yang ditampilkan sesuai `object_count`). Dengan demikian, setiap siswa dapat memperoleh materi yang berbeda sesuai pengaturan guru.

Hasil Pengujian Fungsional Black Box

Pengujian black box dilakukan pada 19 fitur utama sistem. Hasil pengujian menunjukkan seluruh fitur berhasil berjalan dengan baik.

Tabel 8. Ringkasan Hasil Pengujian Black Box (19 Fitur)

No	Fungsional Aplikasi	Hasil yang Diharapkan	Status
1	Aplikasi dapat membuka halaman utama	Sistem menampilkan halaman pemilihan role	Berhasil
2-3	Tombol role siswa/guru dapat digunakan	Sistem menampilkan halaman dashboard sesuai role	Berhasil
4	Menu mulai pembelajaran pada dashboard siswa	Sistem menampilkan halaman form nama	Berhasil
5-6	Siswa dapat memilih sekolah & memasukkan kode unik	Kode Unik dapat dimasukkan dan lanjut ke halaman	Berhasil
7	Validasi school_id dan unique_code	Data kelas dapat dimasukkan dan sistem menyimpan data siswa	Berhasil
8	Kamera aktif pada form data	Sistem dapat meminta izin kamera dan mendeteksi wajah	Berhasil
9	Pencatatan pola navigasi	Jumlah klik, salah klik dan durasi halaman tercatat	Berhasil
10	Penentuan kondisi pengguna	Sistem menghasilkan kondisi cemas, bingung, normal	Berhasil
11-12	Halaman pembelajaran & tombol lanjut	Sistem menampilkan materi dan materi berpindah	Berhasil
13-14	Halaman latihan & pemilihan jawaban	Sistem menampilkan soal dan jawaban tersimpan	Berhasil
15-16	Perhitungan hasil & halaman hasil	Sistem menampilkan jumlah benar, salah, skor, dan durasi	Berhasil
17	Penyimpanan hasil latihan ke database	Data masuk ke table exercise_result	Berhasil
18	Guru membuka rekap hasil latihan	Sistem menampilkan data hasil latihan siswa	Berhasil
19	Halaman profil pengembang	Sistem menampilkan informasi pengembang aplikasi	Berhasil

Hasil Pengujian Database dan Rekap Guru

Pengujian database dilakukan pada 13 tabel untuk memastikan seluruh data penting tersimpan dengan benar. Hasil pengujian menunjukkan seluruh data berhasil disimpan ke dalam database.

Tabel 9. Hasil Pengujian Penyimpanan Database (13 Tabel)

No	Tabel	Data yang disimpan	Status
----	-------	--------------------	--------

1	Users	Nama, Kelas, Absen dan Role siswa	Berhasil
2	Learning_Session	Data sesi pembelajaran	Berhasil
3	Facial_Expression	Ekspresi Wajah dan confidence	Berhasil
4	Navigation_Logs	Nama halaman, jumlah klik, salah klik dan durasi	Berhasil
5	Confusion_Analysis	Status ekspresi, status navigasi, hasil kondisi, dan rekomendasi	Berhasil
6	UI_Adaptations	Mode UI dan deskripsi adaptasi	Berhasil
7	Questions	Data soal latihan pengenalan hewan	Berhasil
8	Exercise_Result	Skor, jumlah benar, jumlah salah, total soal, dan durasi	Berhasil
9	Admin	Data akun admin	Berhasil
10	Teacher	Data guru dan sekolah guru	Berhasil
11	Materials	Data materi pembelajaran	Berhasil
12	Classes	Data kelas	Berhasil
13	Schools	Data sekolah	Berhasil

Halaman rekap hasil guru berhasil menampilkan data hasil latihan siswa secara lengkap meliputi nama siswa, kelas, kode unik, materi, skor, jumlah benar, total soal, salah klik, durasi pembelajaran, durasi latihan, total durasi, kondisi pengguna, mode UI, ekspresi wajah, dan tanggal latihan. Fitur detail historis siswa berhasil menampilkan seluruh riwayat latihan dari siswa tertentu dengan data skor, materi, salah klik, durasi, kondisi, dan mode UI. Fitur ekspor PDF dan Excel juga berhasil menghasilkan file rekap hasil latihan yang dapat digunakan guru untuk menyimpan, mencetak, atau mengolah kembali data hasil belajar siswa.

Hasil Pengujian Role Admin, Guru, dan Siswa

Pengujian role admin pada 8 skenario menunjukkan admin berhasil menjalankan seluruh fitur pengelolaan data sistem. Pengujian role guru pada 15 skenario menunjukkan guru berhasil mengelola kelas dan siswa, menentukan materi siswa, melihat rekap hasil, melihat detail historis siswa, serta mengunduh data rekap dalam bentuk PDF dan Excel. Pengujian role siswa pada 10 skenario menunjukkan siswa berhasil menjalankan alur pembelajaran mulai dari login menggunakan sekolah dan kode unik, scanning wajah, pembelajaran, latihan, hingga hasil latihan.

Pembahasan

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa implementasi Confusion-Aware Adaptive User Interface berbasis kombinasi ekspresi wajah dan pola navigasi pengguna berhasil diterapkan pada website edukasi untuk anak berkebutuhan khusus. Akurasi klasifikasi 100% pada 8 skenario Confusion-Aware Engine mengindikasikan efektivitas pendekatan rule-based dalam mengidentifikasi kondisi pengguna. Keberhasilan ini sejalan dengan penelitian Medjden et al. (2020) yang mencapai akurasi deteksi emosi di atas 90%, namun penelitian ini melangkah lebih

jauh dengan mengintegrasikan ekspresi wajah dan pola navigasi secara simultan – sebuah pendekatan multimodal yang masih jarang ditemukan dalam literatur. Sebagaimana dinyatakan Wang et al. (2022), penggunaan satu indikator saja sering kali belum cukup menggambarkan kondisi pengguna secara akurat; ekspresi wajah memberikan sinyal non-verbal sementara pola navigasi mencerminkan perilaku interaksi, sehingga penggabungan keduanya terbukti saling melengkapi dan meningkatkan keandalan identifikasi kondisi pengguna.

Kemampuan sistem mengklasifikasikan kondisi pengguna ke dalam tiga kategori (netral, cemas, bingung) didasarkan pada asumsi yang sejalan dengan kajian *affective computing*, di mana ekspresi takut (*fear*) berkorelasi dengan kecemasan (Krstić et al., 2025) dan ekspresi marah (*angry*) diartikan sebagai respons frustrasi akibat kesulitan memahami alur sistem (Fridayanti & Fitriah, 2021). Pendekatan ini penting karena FER yang digunakan hanya menyediakan klasifikasi emosi dasar, sehingga diperlukan interpretasi kontekstual untuk menghubungkannya dengan kondisi fungsional pengguna dalam konteks pembelajaran. Penguncian mode UI setelah tahap form data merupakan keputusan desain krusial untuk menjaga konsistensi pengalaman pengguna, terutama bagi ABK yang mungkin mengalami kebingungan jika tampilan berubah-ubah selama sesi pembelajaran. Hal ini sejalan dengan prinsip WCAG pada aspek *Understandable* yang menekankan konsistensi perilaku sistem (Krstić et al., 2025), serta temuan Hadimlioglu & Linga (2025) bahwa perubahan UI yang terlalu sering dapat mengganggu pengguna.

Implementasi tiga mode UI (normal, cemas, bingung) menunjukkan pendekatan bertingkat dalam adaptasi antarmuka yang memberikan dukungan sesuai tingkat kesulitan pengguna. Pendekatan ini sejalan dengan temuan Medjden et al. (2020) bahwa antarmuka hybrid paling disukai pengguna karena meningkatkan produktivitas dan efisiensi. Validasi kode unik berbasis sekolah melalui kombinasi *school_id* dan *unique_code* memungkinkan sistem mendukung banyak sekolah tanpa konflik data, sekaligus menyederhanakan akses siswa – relevan dengan temuan Putri & Saidah (2024) tentang pentingnya desain *human-centered* dengan skor SUS 86,5 (kategori excellent). Materi dinamis dengan tiga kategori hewan yang dapat dipilih guru juga menunjukkan fleksibilitas sistem, sejalan dengan penelitian Setyoningrum et al. (2024) bahwa variasi materi dan fitur kuis mampu meningkatkan keterlibatan siswa berkebutuhan khusus.

Analisis lebih mendalam mengenai akurasi Confusion-Aware Engine yang mencapai 100% pada skenario terkontrol perlu mempertimbangkan bahwa pengujian dilakukan pada kondisi yang telah ditentukan dengan ekspresi wajah dan pola navigasi yang disimulasikan. Penelitian Radočaj & Martinović (2025) menunjukkan bahwa model deep learning yang dilatih pada dataset umum sering kali kurang akurat ketika diterapkan pada anak autis karena perbedaan pola ekspresi wajah. Implikasi temuan ini bagi pengembangan teknologi pembelajaran inklusif secara lebih luas adalah bahwa pendekatan multimodal yang menggabungkan sinyal non-verbal (ekspresi wajah) dan perilaku interaksi (pola navigasi) dapat menjadi model untuk sistem pembelajaran adaptif yang lebih responsif.

Kebaruan penelitian ini mencakup integrasi multimodal indikator kebingungan dalam satu sistem antarmuka adaptif untuk ABK, penerapan rule-based engine yang sederhana namun efektif (berbeda dengan pendekatan deep learning kompleks pada Radočaj & Martinović, 2025), penguncian mode UI per sesi yang jarang dibahas dalam literatur AUI untuk ABK, serta integrasi manajemen siswa berbasis kode unik dan materi dinamis yang memungkinkan personalisasi pembelajaran. Keterbatasan penelitian meliputi pengujian pada skenario terkontrol dengan jumlah sampel terbatas, akurasi FER yang bervariasi tergantung kondisi pencahayaan dan posisi wajah, pencatatan pola navigasi hanya pada tahap awal interaksi, serta belum dilakukannya pengujian langsung kepada ABK dengan pendampingan guru atau tenaga ahli. Penelitian selanjutnya disarankan melakukan uji coba langsung kepada ABK, mengembangkan model deteksi ekspresi yang lebih stabil dengan dataset beragam, serta menambahkan fitur rekomendasi pembelajaran berdasarkan riwayat hasil latihan siswa.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan *Confusion-Aware Adaptive User Interface* pada website edukasi Sahabat KIE untuk anak berkebutuhan khusus menggunakan metode Prototype Model dengan pendekatan rule-based, di mana pengujian pada 8 skenario menunjukkan akurasi klasifikasi kondisi pengguna (normal, cemas, bingung) sebesar 100% berdasarkan kombinasi ekspresi wajah yang dideteksi melalui MediaPipe dan FER serta pola navigasi yang dicatat dari jumlah klik, salah klik, dan durasi halaman, dengan tiga mode UI adaptif (normal, cemas, bingung) yang berhasil diterapkan dan dikunci per sesi untuk menjaga konsistensi pengalaman belajar, serta sistem mampu mengelola tiga role pengguna (admin, guru, siswa) dengan fitur validasi kode unik berbasis sekolah, materi dinamis tiga kategori hewan, dan rekap hasil belajar dilengkapi ekspor PDF dan Excel yang mendukung pembelajaran inklusif secara menyeluruh.

REKOMENDASI

Berdasarkan temuan penelitian, direkomendasikan kepada pengembang sistem untuk melanjutkan pengembangan dengan melakukan uji coba langsung kepada ABK dan melibatkan pendampingan guru atau tenaga ahli guna mengukur efektivitas sistem dalam konteks nyata, kepada peneliti selanjutnya untuk mengembangkan model deteksi ekspresi wajah yang lebih stabil dengan dataset yang mencakup variasi ekspresi atipikal ABK, menambahkan fitur rekomendasi pembelajaran berbasis riwayat hasil latihan, serta menguji sistem pada skala yang lebih luas, kepada guru dan sekolah untuk memanfaatkan sistem sebagai media pembelajaran inklusif yang adaptif dalam memantau kondisi emosional siswa secara real-time, dan kepada pemerintah serta pemangku kebijakan untuk mendukung pengembangan teknologi pembelajaran inklusif berbasis antarmuka adaptif melalui kebijakan, pendanaan, dan pelatihan bagi guru agar teknologi ini dapat diimplementasikan secara luas di sekolah-sekolah inklusif di Indonesia.

REFERENSI

- Choirunnisa, A., Murti, Z. A. P., & Fajrian, R. A. (2025). Rancang Bangun Digitalisasi Formulir Perintah Kerja Berbasis Website dan Aplikasi Android dengan Metode Unified Modelling Language (UML). *Jurnal Instrumentasi dan Teknologi Informasi (JITI)*, 7(1), 26-39.
- Febrianti, F. A., Rahman, M. A., Alani, N., Nuriyanti, R. R. N. R., & Sari, I. P. (2025). Pemanfaatan website interaktif berbasis Bahasa Isyarat Indonesia (BISINDO) sebagai media pembelajaran inklusif bagi anak sekolah dasar. In *Social, Humanities, and Educational Studies (SHES): Conference Series* (Vol. 8, No. 3). <https://doi.org/10.20961/shes.v8i3.107323>
- Fitria, T. N. (2025). Development of the SIP (Smart Inclusive School) Web-Based E-Learning Platform for Empowering Teachers and Parents at RA Zidni 'Ilma Sukoharjo: Pengembangan Platform E-learning SIP (Sekolah Inklusif Pintar) Berbasis Web untuk Pemberdayaan Guru dan Orang Tua di Sekolah RA Zidni 'Ilma Sukoharjo. *Dinamisia: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 9(5), 1599-1611. <https://doi.org/10.31849/>
- Fridayanti, F., & Fitriah, E. A. (2021). Why and how am I angry? Exploring the causes and expressions of anger of the Islamic Sundanese adolescents. *Jurnal Psikologi Ulayat*, 8(1), 69-90. <https://doi.org/10.24854/jpu193>
- Hadimlioglu, I. A., & Linga, S. (2025). Face2Feel: Emotion-Aware Adaptive User Interface. *arXiv preprint arXiv:2510.00489*. <http://arxiv.org/abs/2510.00489>
- Hidayat, M. M., Makaloe, E. D. G. G., Astutik, A. D., & Efendi, A. T. (2025). Analisis Ekspresi Wajah Untuk Deteksi Emosi Dan Menerapkannya Dalam Game Dan Survei Kepuasan Pengguna. *Dike*, 3(1), 31-35. <https://doi.org/10.69688/dike.v3i1.124>
- Kristić, M., Zakarija, I., Škopljanač-Maćina, F., & Car, Ž. (2025). Machine Learning for Adaptive Accessible User Interfaces: Overview and Applications. *Applied Sciences*, 15(23), 12538. <https://doi.org/10.3390/app152312538>
- Medjden, S., Ahmed, N., & Lataifeh, M. (2020). Adaptive user interface design and analysis using emotion recognition through facial expressions and body posture from an RGB-D sensor. *PLoS ONE*, 15(7), e0235908. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235908>
- Muttaqin, A. N., Sandy, M. D. H., & Lubis, M. (2025). Penerapan Law Of Ux Dalam Analisis Desain Antarmuka Aplikasi Shopee. *Jurnal Riset Sistem Informasi dan Teknologi Informasi (JURSISTEKNI)*, 7(2), 775-787. <https://doi.org/10.52005/jursistekni.v7i2.473>
- Nugraha, N. I., Rabika, J. C., Muzaqi, A. R. B., Andisa, G., Adzani, R. M., Wicaksono, A., & Mindara, G. P. (2025). Pengujian Fungsional Sistem Informasi Inventori Barang CV Cahaya Baru Menggunakan Metode Black Box Testing. *E-Link: Jurnal Teknik Elektro Dan Informatika*, 20(1), 1-10. <https://doi.org/10.30587/e-link.v20i1.8873>
- Permana, B. S., Hazizah, L. A., & Herlambang, Y. T. (2024). Teknologi pendidikan: efektivitas penggunaan media pembelajaran berbasis teknologi di era digitalisasi. *Khatulistiwa: Jurnal Pendidikan Dan Sosial Humaniora*, 4(1), 19-28. <https://doi.org/10.55606/khatulistiwa.v4i1.2702>
- Pressman, R. S. (2014). *Software Engineering: A Practitioner's Approach* (8th ed.). McGraw-Hill Education.

- Purnamasari, I., & Ramadhan, M. D. (2025). Perancangan UI/UX Menggunakan Metode Design Thinking Pada Website Pendidikan Kahfi Education. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 4(3), 607-629. <https://doi.org/10.51903/regpfj64>
- Putri, Y., & Saidah, S. (2024). Designing UI/UX on Adaptive Skills Learning Application for Autistic Children Using Design Thinking Method and Applied Behavior Analysis Theory. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 10(4), 914-929. <https://doi.org/10.26555/jiteki.v10i4.28560>
- Radočaj, P., & Martinović, G. (2025). Emotion Recognition in Autistic Children Through Facial Expressions Using Advanced Deep Learning Architectures. *Applied Sciences*, 15(17), 9555. <https://doi.org/10.3390/app15179555>
- Ranisayah, S., Ulandari, U., & Suripah, S. (2025). Eksplorasi Penggunaan Aplikasi Photomath untuk Memfasilitasi Pendekatan Intuitif dan Formal dalam Pembelajaran Matematika di SMPN 1 Pasir Penyu. *Perspektif Pendidikan dan Keguruan*, 16(1), 49-56. [https://doi.org/10.25299/perspektif.2025.vol16\(1\).21464](https://doi.org/10.25299/perspektif.2025.vol16(1).21464)
- Salam, A., & Ramadhan, S. (2025). Penerapan Media Pembelajaran Pengenalan Hewan Berbasis Augmented Reality Untuk Anak Usia Dini Di Tkn 26 Lelamase. *Golden Age and Inclusive Education*, 2(1). <https://doi.org/10.61798/galon.v2i1.275>
- Setyoningrum, N. R., Setiawan, H., & Saputra, D. (2024). Augmented reality mobile application as an animal introduction learning media for elementary school students with mentally disabled. *Journal Media Elektrik*, 22(1), 45-58. <https://doi.org/10.59562/metrik.v22i1.6201>
- Syahputra, M. F. D., Hanggara, B. T., & Prakoso, B. S. (2022). Analisis dan perancangan sistem informasi penjualan dengan metode FAST pada CV Ide Karya Semesta. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 6(2), 929-938.
- Syarif, M., & Risdiansyah, D. (2024). Pemanfaatan Metode Prototype Dalam Perancangan Sistem Informasi Penjualan Berbasis Website. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(4), 7945-7952. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.10467>
- Syarif, M., & Risdiansyah, D. (2024). Pemanfaatan Metode Prototype Dalam Perancangan Sistem Informasi Penjualan Berbasis Website. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 8(4), 7945-7952. <https://doi.org/10.36040/jati.v8i4.10467>
- Talakua, A., & Aha Pekuwali, A. (2023). Aplikasi Game Edukasi pengenalan Nama Hewan dan Habitat dalam 3 Bahasa bagi Anak Usia Dini. *Explore: Jurnal Sistem Informasi dan Telematika*, 14(1), 24-35. <https://doi.org/10.36448/jsit.v14i1.2982>
- Wang, Y., Song, W., Tao, W., Liotta, A., Yang, D., Li, X., Gao, S., Sun, Y., Ge, W., Zhang, W., & Zhang, W. (2022). A Systematic Review on Affective Computing: Emotion Models, Databases, and Recent Advances. *arXiv preprint*. <http://arxiv.org/abs/2203.06935>