ISSN: 2598-8565 (media cetak)
ISSN: 2620-4339 (media online)

PENGEMBANGAN *PROOF OF CONCEPT* APLIKASI MATEMATIKA NUSANTARA ADAPTIF BERBASIS AI UNTUK SISWA SD KELAS V

Oktaviana Bangun✉, Rafika Sari Br. Sembiring, Hakiki Annisa' Batubara
Universitas Mandiri Bina Prestasi, Medan, Indonesia
Email: oktavianabangun170@gmail.com

DOI: https://doi.org/10.46880/jmika.Vol10No2.pp919-932

ABSTRACT

Mathematics learning in elementary schools still faces challenges due to differences in students' learning abilities and the limited availability of adaptive learning media that integrate local cultural values. This study aims to develop a proof of concept of an Artificial Intelligence (AI)-based adaptive Mathematics Nusantara application for fifth-grade elementary school students. The research employed the Research and Development (R&D) method using the ADDIE development model, which includes the stages of analysis, design, development, implementation, and evaluation. The application was designed to provide personalized mathematics learning by adapting learning materials and exercises according to students' abilities while integrating ethnomathematics based on Indonesian local culture. The developed prototype was evaluated through expert validation and limited trials involving teachers and students to assess its functionality and usability. The results indicate that the prototype functions properly and demonstrates the feasibility of AI-based adaptive learning integrated with Mathematics Nusantara. This study contributes to the development of innovative educational technology that supports personalized, contextual, and culturally responsive mathematics learning in elementary schools.

Keywords: Artificial Intelligence, Adaptive Learning, Mathematics Nusantara, Elementary School, Proof of Concept.

ABSTRAK

Kegiatan belajar matematika di sekolah dasar masih menemui sejumlah hambatan akibat perbedaan kemampuan belajar siswa serta keterbatasan media pembelajaran adaptif yang mengintegrasikan nilai-nilai budaya lokal. Penelitian ini bertujuan mengembangkan proof of concept aplikasi Matematika Nusantara adaptif berbasis Artificial Intelligence (AI) untuk siswa SD kelas V. Metode Research and Development (R&D) dengan model ADDIE digunakan dalam penelitian ini, dimulai dari tahap analisis, perancangan, pengembangan, penerapan, dan penilaian. Aplikasi dirancang untuk memberikan pembelajaran matematika yang dipersonalisasi melalui penyesuaian materi dan latihan berdasarkan kemampuan belajar siswa serta mengintegrasikan konsep etnomatematika yang bersumber dari budaya Nusantara. Prototype yang dikembangkan dievaluasi melalui validasi ahli dan uji coba terbatas yang melibatkan guru dan siswa untuk menilai fungsionalitas dan kemudahan penggunaannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa prototype aplikasi berfungsi dengan baik dan layak sebagai proof of concept pembelajaran adaptif berbasis AI yang terintegrasi dengan Matematika Nusantara. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pendidikan yang inovatif, kontekstual, dan berorientasi pada kebutuhan belajar siswa sekolah dasar.

Kata Kunci: Artificial Intelligence, Pembelajaran Adaptif, Matematika Nusantara, Sekolah Dasar, Proof of Concept.

PENDAHULUAN

Matematika berperan penting dalam mengembangkan kemampuan berpikir logis, kritis, kreatif serta keterampilan pemecahan masalah pada peserta didik. Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa pembelajaran matematika di sekolah dasar masih menghadapi berbagai tantangan, seperti rendahnya motivasi belajar, perbedaan kemampuan akademik antar siswa, serta penggunaan aplikasi pembelajaran yang belum mampu mengakomodasi kebutuhan belajar secara individual. Kondisi tersebut menyebabkan proses pembelajaran cenderung bersifat seragam (*one-size-fits-all*), sehingga siswa yang memiliki kemampuan belajar berbeda memperoleh pengalaman belajar yang kurang optimal. Perkembangan *Artificial Intelligence* (AI) membuka peluang untuk menghadirkan sistem pembelajaran yang lebih adaptif dan personal.

Teknologi AI mampu menganalisis karakteristik belajar siswa, memberikan rekomendasi

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

materi sesuai tingkat kemampuan, serta menyediakan umpan balik secara otomatis. Dalam konteks pendidikan dasar, pemanfaatan AI dapat mendukung pembelajaran yang lebih berpusat pada peserta didik melalui pemanfaatan data hasil interaksi dan perkembangan belajar siswa. Salah satu pendekataan yang dapat digunakan dalam pembelajaran adaptif Adalah mekanisme pelacakan penguasaan siswa (*knowledge tracing*) yang memungkinkan system memperbarui estimasi penguasaan berdasarkan respons siswa dan menggunakan informasi tersebut sebagai dasar rekomendasi pembelajaran

Di sisi lain, pembelajaran matematika di Indonesia masih belum banyak memanfaatkan potensi budaya lokal sebagai sumber belajar. Konsep Matematika Nusantara atau etnomatematika menunjukkan bahwa berbagai unsur budaya, seperti rumah adat, kain tenun, permainan tradisional, pola ukiran, serta aktivitas masyarakat, mengandung konsep-konsep matematika yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran kontekstual. Integrasi budaya lokal dalam pembelajaran matematika dapat membantu menghubungkan konsep matematika dengan pengalaman kehidupan siswa, sekaligus memperkuat relevansi dan kebermaknaan pembelajaran.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan media pembelajaran berbasis AI maupun media pembelajaran berbasis etnomatematika. Penelitian mengenai AI dalam pendidikan umumnya berfokus pada pembelajaran adaptif, *intelligent tutoring system*, personalisasi materi dan analisis data pembelajaran. Pada pendekatan tersebut, adaptasi terutama diarahkan pada penyesuaian materi, Latihan atau Tingkat kesulitan berdasarkan performa dan perkembangan belajar siswa. Sementara itu, penelitian etnomatematika lebih banyak berfokus pada identifikasi konsep matematika dalam budaya local serta pengembangan bahan ajar atau media pembelajaran yang menggunakan konteks budaya sebagai sumber belajar. Perbedaan fokus tersebut menunjukkan adanya ruang pengembangan pada integrasi kedua pendekatan. Sistem pembelajaran adaptif memberikan peluang untuk mempersonalisasi proses belajar berdasarkan respons siswa, sedangkan etnomatematika menyediakan konteks budaya yang dapat membuat materi matematika lebih dekat dengan pengalaman siswa. Namun, penggabungan mekanisme personalisasi pembelajaran dengan konten Matematika Nusantara dalam satu sistem adaptif untuk siswa sekolah dasar masih memerlukan pengembangan dan pembuktian pada tahap *proof of concept*.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini mengembangkan *Proof of Concept* Aplikasi Matematika Nusantara Adaptif Berbasis Artificial Intelligence (AI) untuk Siswa SD Kelas V. Penelitian menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE, yang meliputi tahap analisis, desain, pengembangan, implementasi dan evaluasi. Fokus penelitian adalah menghasilkan prototype aplikasi yang mampu memberikan materi dan latihan secara adaptif berdasarkan respons dan perkembangan belajar siswa, sekaligus mengintegrasikan konteks budaya dalam pembelajaran matematika. Kebaruan penelitian ini tidak terletak pada pengembangan algoritma AI baru, tetapi pada rancangan integrasi mekanisme personalisasi pembelajaran dengan konten Matematika Nusantara berbasis budaya Deli Serdang dalam sebuah *proof of concept* untuk siswa kelas V sekolah dasar. Pada sisi mekanisme adaptasi, prototype mengombinasikan *Bayesian Knowledge Tracing* (BKT) sederhana untuk memperbarui estimasi penguasaan siswa dengan rule-based logic untuk menentukan rekomendasi materi dan tingkat kesulitan latihan. Pada sisi konten, unsur budaya Deli Serdang tidak hanya digunakan sebagai ilustrasi atau konteks tambahan, tetapi diintegrasikan ke dalam materi dan latihan matematika yang digunakan dalam proses pembelajaran. Dengan demikian, penelitian ini memiliki perbedaan dengan penelitian pembelajaran adaptif berbasis AI yang terutama berfokus pada personalisasi berdasarkan performa siswa, karena penelitian ini menghubungkan proses adaptasi tersebut dengan konteks budaya lokal. Penelitian ini juga berbeda dari penelitian etnomatematika yang umumnya berfokus pada pemanfaatan budaya sebagai sumber atau konteks bahan ajar, karena prototype yang dikembangkan menghubungkan konten budaya dengan mekanisme rekomendasi adaptif berdasarkan respons belajar siswa. Integrasi antara pelacakan penguasaan siswa, pengambilan keputusan adaptif, dan konten matematika berbasis budaya Deli Serdang tersebut menjadi kontribusi utama penelitian ini

Prototype yang dikembangkan diharapkan menjadi bukti awal (*proof of concept*) bahwa mekanisme pembelajaran adaptif dapat diintegrasikan dengan Matematika Nusantara dalam pembelajaran matematika sekolah dasar. Secara ilmiah, penelitian ini memberikan kontribusi pada pengembangan teknologi pendidikan dengan menunjukkan rancangan awal pembelajaran yang bersifat personal dan kontekstual, yaitu personal melalui penyesuaian rekomendasi berdasarkan perkembangan belajar siswa dan kontekstual melalui pemanfaatan budaya Deli Serdang

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

sebagai bagian dari konten matematika. Hasil penelitian ini juga diharapkan menjadi dasar bagi pengembangan sistem pembelajaran adaptif yang lebih kompleks pada tahap penelitian selanjutnya, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi terhadap pengembangan teknologi pendidikan yang inovatif, mendukung pembelajaran yang personal dan kontekstual, serta menjadi dasar bagi pengembangan sistem pembelajaran adaptif berbasis AI pada tahap penelitian selanjutnya.

TINJAUAN PUSTAKA

Artificial Intelligence (AI) dalam Pembelajaran

Kecerdasan Buatan (*Artificial Intelligence*/AI) adalah teknologi yang memungkinkan komputer meniru kecerdasan manusia melalui kemampuan belajar, menganalisis data, mengambil keputusan, dan memberikan rekomendasi berdasarkan informasi yang tersedia. Dalam bidang pendidikan, AI telah berkembang menjadi salah satu teknologi yang mendukung pembelajaran adaptif (adaptive learning), intelligent tutoring system, learning analytics, serta pembelajaran yang dipersonalisasi (personalized learning). AI mampu menganalisis karakteristik, kemampuan, dan perkembangan belajar peserta didik sehingga materi, latihan, maupun umpan balik dapat disesuaikan dengan kebutuhan masing-masing siswa (UNESCO, 2023).

Pemanfaatan AI dalam pembelajaran matematika memberikan peluang untuk meningkatkan efektivitas proses belajar karena siswa memperoleh materi sesuai tingkat penguasaan konsep yang dimiliki. Dengan demikian, AI tidak hanya berfungsi sebagai media pembelajaran digital, tetapi juga sebagai sistem pendukung keputusan yang membantu guru dalam memantau perkembangan belajar siswa secara lebih objektif dan berkelanjutan.

Pembelajaran Adaptif (*Adaptive Learning*)

Pembelajaran adaptif merupakan pendekatan yang berorientasi pada personalisasi proses pembelajaran melalui penyesuaian materi, aktivitas, strategi dan asesmen sesuai dengan kemampuan, kebutuhan serta karakteristik masing-masing peserta didik guna meningkatkan kualitas dan efektivitas pembelajaran. Sistem pembelajaran adaptif memanfaatkan data hasil belajar siswa untuk menentukan tingkat kesulitan materi berikutnya sehingga proses belajar menjadi lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional yang menerapkan materi yang sama kepada seluruh siswa. Implementasi pembelajaran adaptif berbasis AI memungkinkan sistem memberikan rekomendasi materi secara otomatis berdasarkan hasil latihan siswa. Pendekatan ini mendukung prinsip pembelajaran yang berpusat pada peserta didik (*student-centered learning*) dan sejalan dengan implementasi Kurikulum Merdeka yang menekankan pembelajaran sesuai kebutuhan peserta didik.

Matematika Nusantara (Etnomatematika)

Matematika Nusantara merupakan penerapan konsep etnomatematika yang mengkaji hubungan antara matematika dengan budaya masyarakat Indonesia. Berbagai unsur budaya seperti rumah adat, kain tenun, batik, ukiran tradisional, permainan rakyat, pola anyaman, dan aktivitas kehidupan sehari-hari mengandung konsep-konsep matematika yang dapat dimanfaatkan sebagai sumber belajar.

Pendekatan Matematika Nusantara bertujuan menjadikan pembelajaran lebih kontekstual sehingga siswa lebih mudah memahami konsep matematika melalui pengalaman budaya yang dekat dengan kehidupan mereka. Selain meningkatkan pemahaman konsep, pendekatan ini juga berperan dalam menanamkan kecintaan terhadap budaya lokal sekaligus memperkuat identitas nasional.

Proof of Concept (PoC)

Proof of Concept (PoC) merupakan tahapan awal dalam pengembangan teknologi yang bertujuan membuktikan bahwa suatu konsep dapat diterapkan secara teknis sebelum dikembangkan menjadi produk yang lebih lengkap. Pada Tingkat Kesiapterapan Teknologi (TKT) 3, fokus penelitian adalah menghasilkan prototype awal yang menunjukkan kelayakan fungsi utama sistem.

Dalam penelitian ini, *Proof of Concept* diwujudkan melalui prototype aplikasi pembelajaran adaptif yang mampu menyesuaikan materi pembelajaran berdasarkan kemampuan siswa serta mengintegrasikan konsep Matematika Nusantara ke dalam proses pembelajaran.

Penelitian Terdahulu

Temuan dari berbagai studi menunjukkan bahwa implementasi *Artificial Intelligence* (AI) memberikan kontribusi positif dalam meningkatkan mutu pembelajaran. UNESCO (2023) menegaskan bahwa integrasi AI mendukung personalisasi pembelajaran melalui analisis data peserta didik. Secara berkelanjutan. Senada dengan hal tersebut, Holmes et al. (2019) menjelaskan bahwa penerapan AI memberikan berpotensi yang signifikan dalam meningkatkan efektivitas proses pembelajaran melalui

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

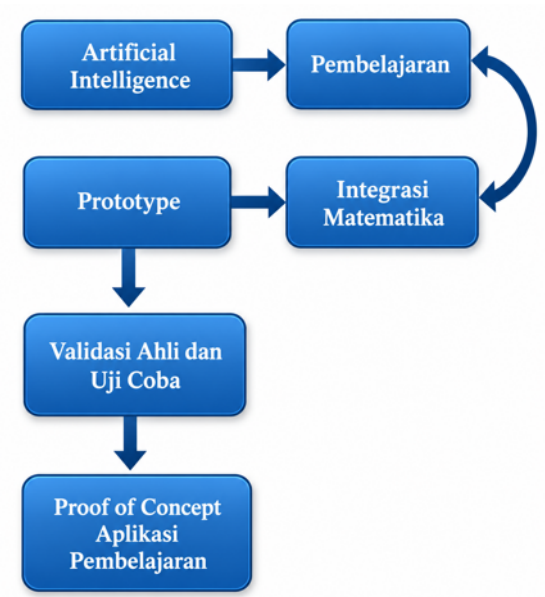
ISSN: 2598-8565 (media cetak)
ISSN: 2620-4339 (media online)

sistem pembelajaran adaptif dan intelligent tutoring system.

Penelitian mengenai etnomatematika juga menunjukkan hasil yang positif. Rosa dan Orey (2021) menyatakan bahwa pembelajaran berbasis budaya lokal berkontribusi positif terhadap peningkatan pemahaman konsep matematika, motivasi belajar dan kemampuan berpikir kritis peserta didik. Namun demikian, Sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada penerapan metode pembelajaran konvensional dan belum mengintegrasikan kecerdasan buatan (AI) untuk mendukung pembelajaran yang adaptif dan dipersonalisasi. Beberapa penelitian lain telah mengembangkan aplikasi pembelajaran berbasis AI, tetapi belum mengintegrasikan unsur budaya lokal sebagai bagian dari materi pembelajaran. Sebaliknya, penelitian etnomatematika lebih banyak berfokus pada pengembangan bahan ajar atau media berbasis budaya tanpa menerapkan mekanisme pembelajaran adaptif berbasis AI. Oleh karena itu, penelitian ini mengisi kesenjangan tersebut melalui pengembangan prototype aplikasi yang mengombinasikan AI dan Matematika Nusantara dalam satu sistem pembelajaran adaptif.

Kerangka Konseptual Penelitian

Penelitian ini mengembangkan aplikasi pembelajaran adaptif berbasis AI yang memanfaatkan data hasil belajar siswa sebagai dasar dalam menentukan materi dan latihan yang sesuai. Materi pembelajaran disusun berdasarkan konsep Matematika Nusantara sehingga siswa memperoleh pengalaman belajar yang personal sekaligus kontekstual. Alur konseptual penelitian adalah sebagai berikut:



Gambar 1. Kerangka Konseptual Penelitian

Pengembangan Hipotesis

Penelitian ini merupakan penelitian Research and Development (R&D) yang berfokus pada pengembangan Proof of Concept aplikasi Matematika Nusantara adaptif. Oleh karena itu, penelitian tidak menguji hubungan atau pengaruh antarvariabel sebagaimana penelitian eksperimen atau survei, sehingga hipotesis statistik tidak digunakan. Sebagai gantinya, penelitian menetapkan asumsi pengembangan yang menjadi dasar dalam merancang dan mengevaluasi prototype. Asumsi pengembangan penelitian ini Adalah sebagai berikut:

1. Prototype aplikasi Matematika Nusantara adaptif dapat dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pembelajaran matematika siswa kelas V Sekolah Dasar.
2. Prototype yang dikembangkan memenuhi aspek fungsionalitas dan kelayakan berdasarkan hasil validasi ahli dan uji coba terbatas.
3. Mekanisme adaptasi yang menggabungkan Bayesian Knowledge Tracing (BKT) sederhana dan rule-based logic dapat digunakan sebagai mekanisme awal untuk memberikan rekomendasi materi dan tingkat kesulitan latihan berdasarkan respons belajar siswa.
4. Prototype aplikasi dapat digunakan sebagai bukti awal (Proof of Concept) untuk pengembangan sistem pembelajaran adaptif berbasis AI pada penelitian lanjutan.

Mekanisme Adaptasi Berbasis BKT dan Rule-Based Logic

Mekanisme adaptasi pada prototype dirancang untuk menyesuaikan rekomendasi pembelajaran berdasarkan respons siswa selama mengerjakan latihan. Sistem tidak menggunakan deep learning, large language model, atau model AI generatif. Komponen adaptif pada prototype diwujudkan melalui kombinasi Bayesian Knowledge Tracing (BKT) sederhana dan rule-based logic. BKT digunakan untuk memperkirakan tingkat penguasaan siswa terhadap kompetensi atau materi tertentu berdasarkan riwayat respons siswa. Setiap respons terhadap soal menjadi data masukan bagi sistem. Jawaban benar memberikan bukti yang mendukung peningkatan estimasi penguasaan, sedangkan jawaban salah memberikan informasi bahwa siswa masih memerlukan penguatan pada kompetensi tersebut. Estimasi penguasaan tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan tindakan pembelajaran berikutnya.

Secara konseptual, alur mekanisme adaptasi dalam prototype adalah:

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ISSN: 2598-8565 (media cetak)
ISSN: 2620-4339 (media online)



Gambar 2. Diagram Alur Pembelajaran Adaptif Berbasis *Bayesian Knowledge Tracing* (BKT)

Pada tahap pengambilan keputusan, rule-based logic digunakan untuk menerjemahkan kondisi penguasaan siswa menjadi rekomendasi pembelajaran. Aturan keputusan menghubungkan tingkat penguasaan siswa dengan tindakan pembelajaran yang sesuai. Ketika estimasi penguasaan menunjukkan bahwa suatu kompetensi belum dikuasai secara memadai, sistem memberikan penguatan materi dan latihan dengan tingkat kesulitan yang lebih rendah. Ketika penguasaan berada pada tingkat berkembang, sistem memberikan materi penguatan dan latihan tingkat menengah. Apabila penguasaan telah memadai, sistem memberikan latihan dengan tingkat kesulitan lebih tinggi sebagai bentuk pengayaan.

Tabel 1. Mekanisme Pengambilan Keputusan Adaptif

Kondisi Penguasaan Siswa	Informasi dari BKT	Rule-Based Logic	Rekomendasi Materi	Rekomendasi Tingkat Kesulitan
Belum menguasai	Estimasi penguasaan rendah	Berikan penguatan	Materi dasar/konsep yang belum dikuasai	Mudah
Berkembang	Estimasi penguasaan sedang	Berikan pendalaman	Materi penguatan dan contoh tambahan	Sedang
Menguasai	Estimasi penguasaan tinggi	Berikan pengayaan	Materi lanjutan dan penerapan konsep	Tinggi

Tabel 1 menunjukkan rancangan konseptual mekanisme pengambilan keputusan adaptif pada prototype. Kategori tingkat penguasaan digunakan sebagai dasar untuk menentukan tindakan pembelajaran, sedangkan BKT berfungsi menyediakan informasi mengenai kondisi penguasaan siswa.

Berdasarkan mekanisme tersebut, BKT berfungsi sebagai mekanisme pelacakan dan estimasi penguasaan siswa, sedangkan rule-based logic berfungsi sebagai mekanisme pengambilan keputusan adaptif. Keduanya digunakan secara berurutan dalam proses rekomendasi pembelajaran. Dengan demikian, respons siswa tidak hanya dicatat sebagai hasil latihan, tetapi digunakan sebagai masukan untuk memperbarui kondisi penguasaan dan menentukan rekomendasi pembelajaran berikutnya. Rekomendasi yang dihasilkan sistem meliputi dua aspek utama, yaitu materi yang perlu dipelajari atau diperkuat dan tingkat kesulitan latihan berikutnya. Materi rekomendasi ditentukan berdasarkan kompetensi yang masih memerlukan penguatan, sedangkan tingkat kesulitan disesuaikan dengan kondisi penguasaan siswa. Dengan mekanisme tersebut, siswa tidak harus menerima urutan materi dan tingkat kesulitan yang sama, tetapi memperoleh rekomendasi berdasarkan informasi dari respons belajarnya. Pada tahap *Proof of Concept*, penggunaan BKT sederhana dan rule-based logic dipilih karena mekanisme keputusan dapat ditelusuri dan dijelaskan secara transparan. Pendekatan ini juga memberikan dasar untuk pengembangan sistem yang lebih kompleks ketika tersedia data interaksi siswa dalam jumlah yang lebih besar. Pada penelitian berikutnya, mekanisme tersebut dapat dikembangkan menggunakan metode machine learning atau pendekatan AI yang lebih kompleks untuk meningkatkan kemampuan prediksi dan personalisasi system.

Dengan demikian, mekanisme AI pada penelitian ini diposisikan sebagai mekanisme pengambilan keputusan adaptif berbasis data belajar, bukan sebagai pengembangan algoritma AI baru. Posisi tersebut sesuai dengan tujuan penelitian sebagai pengembangan *Proof of Concept*, yaitu membuktikan kelayakan awal integrasi mekanisme adaptif dengan konten Matematika Nusantara dalam pembelajaran matematika sekolah dasar.

METODE PENELITIAN

Metode *Research and Development* (R&D) digunakan dalam penelitian ini untuk mengembangkan *Proof of Concept* (PoC) Aplikasi Matematika Nusantara Adaptif Berbasis Artificial Intelligence (AI) untuk siswa kelas V sekolah dasar. Model pengembangan yang digunakan adalah ADDIE

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

(*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) karena memberikan tahapan yang sistematis dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi. Objek penelitian adalah prototype aplikasi Matematika Nusantara adaptif, sedangkan subjek penelitian terdiri atas guru dan peserta didik kelas V sekolah dasar. Penelitian dilaksanakan pada salah satu sekolah dasar di Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara.

Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan melalui lima tahapan sesuai dengan model ADDIE sebagai berikut:

1. Analysis (Analisis)
   Tahap analisis difokuskan pada identifikasi kebutuhan pengguna dan kebutuhan pembelajaran sebagai dasar pengembangan prototype aplikasi Matematika Nusantara adaptif. Kegiatan pada tahap ini meliputi:
   a. Observasi proses pembelajaran matematika kelas V;
   b. Wawancara dengan guru kelas V untuk memperoleh informasi mengenai permasalahan dan kebutuhan pembelajaran;
   c. Pengisian angket kebutuhan oleh guru dan siswa;
   d. Analisis capaian pembelajaran matematika kelas V;
   e. Identifikasi materi matematika yang sesuai untuk dikembangkan secara adaptif; dan
   f. Identifikasi unsur Matematika Nusantara, khususnya konteks budaya Deli Serdang, yang relevan dengan materi matematika kelas V.

   Hasil tahap analisis digunakan sebagai dasar dalam menentukan kebutuhan fungsional sistem, karakteristik konten pembelajaran, mekanisme adaptasi, serta kebutuhan pengguna.
2. *Design* (Perancangan)
   Tahap desain meliputi penyusunan Software Requirement Specification (SRS), desain antarmuka (User Interface), desain basis data, use case diagram, activity diagram, serta perancangan alur pembelajaran adaptif. Pada tahap ini juga dirancang mekanisme rekomendasi adaptif yang mengintegrasikan Bayesian Knowledge Tracing (BKT) sederhana dan rule-based logic. BKT digunakan untuk memperbarui estimasi penguasaan siswa berdasarkan respons terhadap latihan, sedangkan rule-based logic digunakan untuk menentukan rekomendasi materi dan tingkat kesulitan latihan berikutnya. Secara konseptual, proses adaptasi dirancang melalui alur:
   Respons siswa → identifikasi kompetensi → pembaruan estimasi penguasaan melalui BKT → proses pengambilan keputusan berbasis aturan → rekomendasi materi dan tingkat kesulitan → latihan berikutnya → respons siswa berikutnya
3. *Development* (Pengembangan)
   Pada tahap pengembangan, rancangan sistem diimplementasikan menjadi prototype aplikasi berbasis web/mobile. Fitur utama prototype meliputi:
   a. Login Guru dan Siswa;
   b. Dashboard Pembelajaran;
   c. Materi Matematika Nusantara;
   d. Rekomendasi Pembelajaran Adaptif;
   e. Latihan Soal Adaptif;
   f. Evaluasi Pembelajaran;
   g. Dashboard Hasil Belajar dan
   h. Laporan Guru

   Prototype selanjutnya melalui proses validasi ahli sebelum digunakan dalam uji coba terbatas. Validasi dilakukan untuk menilai kesesuaian materi, kualitas media, dan aspek teknis system.
4. *Implementation* (Implementasi)
   Prototype yang telah diperbaiki berdasarkan hasil validasi ahli diimplementasikan dalam uji coba terbatas. Uji coba melibatkan guru dan siswa kelas V sebagai pengguna prototype. Uji coba dilakukan untuk memperoleh data mengenai fungsionalitas sistem, kemudahan penggunaan, respons pengguna, serta kinerja awal mekanisme rekomendasi adaptif. Karena penelitian berada pada tahap Proof of Concept, uji coba terbatas ditujukan untuk memperoleh bukti awal mengenai kelayakan dan keterterapan prototype, bukan untuk menguji efektivitas pembelajaran secara eksperimental
5. *Evaluation* (Evaluasi)
   Tahap evaluasi dilakukan secara formatif pada setiap tahap pengembangan dan secara sumatif setelah uji coba terbatas. Evaluasi dilakukan dengan menganalisis hasil validasi ahli, pengujian fungsional sistem, hasil mekanisme rekomendasi adaptif, serta respons pengguna. Masukan dari validator dan pengguna digunakan sebagai dasar perbaikan prototype. Hasil akhir tahap evaluasi digunakan untuk menentukan kelayakan awal prototype sebagai Proof of Concept dan mengidentifikasi aspek yang perlu dikembangkan pada penelitian selanjutnya.

Subjek, Teknik Pemilihan Sampel, dan Validator

Subjek penelitian terdiri atas guru dan siswa kelas V sekolah dasar. Pada tahap analisis kebutuhan, penelitian melibatkan 6 guru untuk memperoleh

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ISSN: 2598-8565 (media cetak)
ISSN: 2620-4339 (media online)

informasi mengenai permasalahan pembelajaran dan kebutuhan terhadap media pembelajaran adaptif. Pada tahap uji coba terbatas, penelitian melibatkan 30 siswa kelas V sebagai pengguna utama prototype.

Pemilihan subjek dilakukan secara purposive, dengan mempertimbangkan kesesuaian karakteristik subjek dengan tujuan pengembangan. Guru dipilih karena memiliki pengalaman langsung dalam pembelajaran matematika sekolah dasar, sedangkan siswa dipilih karena merupakan pengguna sasaran aplikasi yang dikembangkan. Uji coba dilakukan pada satu sekolah dasar di Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara. Validasi prototype dilakukan oleh 2 validator, yang terdiri atas ahli materi, ahli media pembelajaran, dan ahli teknologi informasi. Validator dipilih berdasarkan kompetensi dan pengalaman yang relevan dengan bidang yang dinilai. Kriteria validator meliputi: (1) memiliki latar belakang pendidikan atau keahlian yang sesuai dengan aspek yang divalidasi; (2) memiliki pengalaman dalam bidang pembelajaran matematika, teknologi pendidikan, atau pengembangan sistem informasi; dan (3) memahami pengembangan atau evaluasi media pembelajaran digital.

Prosedur Validasi Ahli

Validasi ahli dilakukan setelah prototype awal selesai dikembangkan dan sebelum prototype digunakan dalam uji coba pengguna. Setiap validator diberikan prototype dan lembar validasi sesuai dengan bidang keahliannya. Validasi ahli materi mencakup kesesuaian materi dengan capaian pembelajaran, ketepatan konsep matematika, kesesuaian konteks Matematika Nusantara, kualitas contoh dan latihan, serta kesesuaian tingkat kesulitan dengan karakteristik siswa kelas V. Validasi ahli media pembelajaran mencakup kualitas tampilan, navigasi, keterbacaan, konsistensi antarmuka, kemudahan penggunaan, serta kesesuaian penyajian media dengan karakteristik siswa sekolah dasar. Validasi ahli teknologi informasi mencakup aspek fungsionalitas sistem, struktur navigasi, integrasi basis data, respons sistem, serta keterlaksanaan mekanisme rekomendasi adaptif. Penilaian dilakukan menggunakan skala Likert 1–5. Hasil penilaian validator dihitung untuk memperoleh persentase kelayakan. Selain memberikan skor, validator juga memberikan komentar dan saran perbaikan. Hasil validasi digunakan sebagai dasar revisi prototype sebelum tahap implementasi.

Kerangka Konseptual dan Arsitektur Sistem Adaptif

Arsitektur sistem dirancang menggunakan pendekatan client-server. Siswa dan guru mengakses aplikasi melalui antarmuka pengguna, sedangkan proses pengolahan data pembelajaran dilakukan pada sisi server dan basis data. Pada sisi siswa, sistem menerima data interaksi berupa identitas siswa, materi yang dipelajari, jawaban latihan, waktu pengerjaan, dan status jawaban. Data respons siswa diteruskan ke modul adaptasi untuk memperbarui estimasi penguasaan kompetensi. Modul adaptasi terdiri atas dua komponen utama. Pertama, Bayesian Knowledge Tracing (BKT) digunakan untuk memperbarui estimasi penguasaan siswa berdasarkan riwayat respons. Kedua, rule-based logic digunakan untuk menerjemahkan kondisi penguasaan menjadi keputusan pembelajaran.

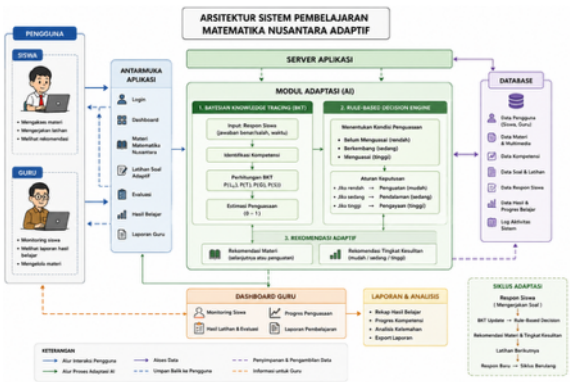
Alur proses sistem dapat diringkas sebagai berikut: Siswa mengerjakan soal → sistem menerima respons → kompetensi diidentifikasi → BKT memperbarui estimasi penguasaan → rule-based logic menentukan keputusan → sistem memilih rekomendasi materi/tingkat kesulitan → rekomendasi ditampilkan kepada siswa → siswa mengerjakan latihan berikutnya → data baru kembali diproses. Pada sisi guru, dashboard menyediakan informasi mengenai aktivitas belajar, hasil latihan, perkembangan penguasaan, dan rekomendasi pembelajaran siswa. Dengan demikian, sistem tidak hanya memberikan personalisasi kepada siswa, tetapi juga menyediakan informasi bagi guru untuk memantau perkembangan belajar.

Mekanisme Pengambilan Keputusan Adaptif

Mekanisme pengambilan keputusan menggunakan hasil estimasi penguasaan dari BKT sebagai masukan bagi rule-based logic

Diagram Arsitektur Sistem

Untuk memperjelas kerangka konseptual dan arsitektur sistem, penelitian ini menggunakan diagram arsitektur yang menunjukkan hubungan antara pengguna, aplikasi, modul adaptasi, dan basis data.



Gambar 3. Arsitektur Sistem

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Gambar 3 menunjukkan arsitektur sistem pembelajaran Matematika Nusantara adaptif yang terdiri atas komponen pengguna, antarmuka aplikasi, server aplikasi, modul adaptasi, basis data, dan dashboard guru. Siswa berinteraksi dengan sistem melalui antarmuka aplikasi untuk mengakses materi Matematika Nusantara dan mengerjakan latihan. Setiap respons siswa, baik jawaban benar maupun salah, menjadi data masukan bagi modul adaptasi. Pada modul adaptasi, data respons siswa diproses menggunakan *Bayesian Knowledge Tracing* (BKT) sederhana untuk memperbarui estimasi penguasaan terhadap kompetensi tertentu. Hasil estimasi tersebut kemudian diteruskan ke rule-based decision engine untuk menentukan kondisi penguasaan siswa dan memilih tindakan pembelajaran yang sesuai. Berdasarkan kondisi tersebut, sistem menghasilkan rekomendasi materi dan tingkat kesulitan latihan berikutnya.

Proses adaptasi berlangsung secara iteratif. Setelah siswa menerima rekomendasi dan mengerjakan latihan berikutnya, respons baru kembali diproses oleh BKT sehingga estimasi penguasaan dapat diperbarui. Dengan demikian, sistem membentuk suatu siklus pembelajaran adaptif yang terdiri atas respons siswa → pembaruan estimasi penguasaan → pengambilan keputusan → rekomendasi → latihan berikutnya → respons baru. Basis data digunakan untuk menyimpan data pengguna, materi, kompetensi, soal dan latihan, respons siswa, hasil belajar, serta aktivitas sistem. Sementara itu, guru memperoleh informasi melalui dashboard berupa perkembangan penguasaan siswa, hasil latihan, aktivitas pembelajaran, dan laporan hasil belajar. Arsitektur tersebut memungkinkan proses personalisasi pembelajaran berjalan berdasarkan data interaksi siswa, sekaligus memberikan informasi kepada guru untuk memantau perkembangan belajar.

Metode Pengumpulan Data

Data penelitian dikumpulkan dengan memanfaatkan beberapa instrumen, yaitu

1. Pengamatan Langsung (Observasi)
2. Interview
3. Angket
4. Pengumpulan Dokumen
5. Validasi Ahli

Instrumen Penelitian

Tabel 2. Instrumen Penelitian

No	Variabel	Indikator	Instrumen	Responden
1	Kebutuhan Sistem	Permasalahan pembelajaran	Observasi	Guru/kelas
2	Kebutuhan Pengguna	Kebutuhan Guru dan Siswa	Angket	Guru dan siswa
3	Kelayakan Materi	Isi Materi	Lembar Validasi	Ahli Materi
4	Kelayakan Media	Interface dan Navigasi	Lembar Validasi	Ahli Media
5	Kelayakan Teknologi	Fungsionalitas dan aspek teknis	Lembar validasi	Ahli teknologi
6	Fungsional Sistem	Seluruh fitur berjalan	Black Box Testing	Sistem
7	Usability	Kemudahan penggunaan	Angket SUS/Likert	Guru dan siswa
8	Respon Pengguna	Kepuasan pengguna	Angket	Guru dan siswa
9	Rekomendasi Adaptif	Kesesuaian rekomendasi dengan kondisi penguasaan	Data respons dan hasil rekomendasi	Sistem

Teknik Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif diperoleh dari hasil penilaian validator ahli serta respons pengguna melalui kuesioner dengan skala Likert 1–5. Tingkat kelayakan dan kepraktisan produk dihitung berdasarkan persentase skor yang diperoleh dibandingkan dengan skor maksimum. Persentase penilaian dihitung menggunakan rumus:

Data kualitatif berupa komentar dan saran dari validator serta pengguna dianalisis secara deskriptif untuk mengidentifikasi aspek yang perlu diperbaiki. Hasil analisis digunakan sebagai dasar revisi prototype. Untuk mekanisme rekomendasi adaptif, analisis dilakukan dengan membandingkan keluaran rekomendasi sistem dengan kriteria rekomendasi yang telah ditetapkan. Analisis tersebut digunakan untuk memperoleh gambaran kinerja awal mekanisme rekomendasi pada tahap Proof of Concept dan tidak

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

digunakan untuk menyimpulkan efektivitas pembelajaran secara eksperimental.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Kebutuhan

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan 6 guru matematika di SD Swasta Katolik Delitua, ditemukan beberapa temuan penting. Pertama, seluruh guru (100%) menyatakan bahwa siswa kelas V mengalami kesulitan dalam memahami materi matematika yang bersifat abstrak, terutama pada topik geometri dan operasi hitung pecahan. Kedua, 5 dari 6 guru (83,3%) mengakui bahwa media pembelajaran yang digunakan masih terbatas pada buku teks dan papan tulis, belum ada pemanfaatan media digital adaptif. Ketiga, seluruh guru menyatakan belum pernah menggunakan aplikasi pembelajaran berbasis AI dalam proses pembelajaran matematika.

Dari sisi siswa, observasi menunjukkan bahwa 24 dari 30 siswa (80%) kurang tertarik mengikuti pembelajaran matematika karena merasa bosan dengan metode ceramah. Sebanyak 27 siswa (90%) menyatakan lebih antusias jika pembelajaran menggunakan media digital yang interaktif dan disertai dengan permainan.

Hasil identifikasi konten Matematika Nusantara menghasilkan 12 aturan etnomatematika berbasis budaya Deli Serdang yang dapat diintegrasikan, antara lain: motif batik Deli untuk pembelajaran simetri dan pola bilangan, permainan tradisional (congklak, engklek) untuk konsep operasi hitung dan geometri, serta alat ukur tradisional untuk pembelajaran.

Konten yang dikembangkan mencakup 5 topik utama: (1) operasi hitung pecahan dengan konteks pembagian kue tradisional; (2) geometri dan simetri dengan konteks motif batik Deli; (3) pengukuran dengan konteks alat ukur tradisional; (4) pola bilangan dengan konteks permainan congklak; dan (5) bangun ruang dengan konteks arsitektur rumah adat Karo

Hasil Uji Coba Terbatas

Uji coba terbatas dilaksanakan selama 2 minggu (Juli-Agustus 2026) melibatkan 30 siswa kelas V. Hasil uji coba disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Uji Coba Terbatas

Aspek Pengukuran	Hasil	Keterangan
Fungsionalitas prototype	100% fitur berjalan tanpa error kritis	Valid
Rata-rata waktu interaksi siswa	25 menit/sesi	Efektif
Tingkat penyelesaian soal	78,3%	Baik
Akurasi rekomendasi adaptasi	86,7%	Sangat Baik

Kepraktisan Aplikasi (Kuesioner TAM) Hasil kuesioner TAM yang diberikan kepada 30 siswa dan 6 guru disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Kuesioner TAM

Dimensi	Rata-rata Skor	Persentase	Kategori
Perceived Usefulness (Kegunaan)	4,23	84,6%	Sangat Praktis
Perceived Ease of Use (Kemudahan)	4,18	83,6%	Sangat Praktis
Attitude Toward Using (Sikap)	4,31	86,2%	Sangat Praktis
Behavioral Intention (Niat)	4,12	82,4%	Sangat Praktis
R a t a - r a t a Total	4,21	84,2%	Sangat Praktis

Berdasarkan Tabel 4, rata-rata total persentase kepraktisan aplikasi mencapai 84,2% dengan kategori "Sangat Praktis". Dimensi dengan skor tertinggi adalah Attitude Toward Using (86,2%), menunjukkan bahwa siswa dan guru memiliki sikap positif terhadap penggunaan aplikasi.

Tabel 5. Hasil Validasi Ahli Prototype Aplikasi Matematika Nusantara Adaptif

No	Aspek Validasi	Jumlah Validator	Rata-rata Skor	Persentase	Kategori
1	Kelayakan Materi	2 orang	4,40	88,0%	Sangat Valid
2	Kelayakan Media Pembelajaran	2 orang	4,35	87,0%	Sangat Valid
3	Kelayakan Teknologi Informasi	2 orang	4,30	86,0%	Sangat Valid
	Rata-rata Total	2 orang	4,35	87,0%	Sangat Valid

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

Berdasarkan Tabel 5, hasil validasi terhadap prototype Aplikasi Matematika Nusantara Adaptif menunjukkan rata-rata persentase sebesar 87,0% dengan kategori "Sangat Valid". Aspek kelayakan materi memperoleh persentase tertinggi sebesar 88,0%, yang menunjukkan bahwa materi matematika yang disajikan dinilai sesuai dengan capaian pembelajaran, karakteristik siswa kelas V, serta konteks Matematika Nusantara. Aspek media pembelajaran memperoleh persentase sebesar 87,0%, yang menunjukkan bahwa tampilan, navigasi, keterbacaan, dan penyajian aplikasi telah memenuhi kriteria kelayakan. Sementara itu, aspek teknologi informasi memperoleh persentase sebesar 86,0%, yang menunjukkan bahwa fungsi sistem, pengelolaan data, dan mekanisme pembelajaran adaptif telah berjalan sesuai dengan rancangan. Secara keseluruhan, rata-rata hasil validasi sebesar 87,0% menunjukkan bahwa prototype telah memenuhi kriteria kelayakan untuk dilanjutkan pada tahap uji coba terbatas. Meskipun demikian, masukan dan saran dari validator tetap digunakan sebagai dasar penyempurnaan prototype, khususnya pada aspek penyajian materi, antarmuka, dan mekanisme rekomendasi adaptif berbasis Bayesian Knowledge Tracing (BKT) dan rule-based logic.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa *proof of concept* aplikasi Matematika Nusantara adaptif berbasis AI berhasil dikembangkan dan memenuhi aspek fungsional serta kepraktisan yang ditargetkan pada tingkat kesiapterapan teknologi (TKT) 3. Hasil validasi ahli menunjukkan bahwa prototype berada pada kategori sangat valid, sedangkan hasil kuesioner Technology Acceptance Model (TAM) memperoleh persentase rata-rata sebesar 84,2% dengan kategori "Sangat Praktis". Selain itu, mekanisme rekomendasi adaptif yang menggabungkan rule-based logic dan Bayesian Knowledge Tracing (BKT) sederhana menghasilkan akurasi rekomendasi sebesar 86,7%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa nilai utama prototype bukan terletak pada pengembangan algoritma AI baru, tetapi pada integrasi mekanisme adaptasi berbasis data belajar dengan konteks Matematika Nusantara dalam satu lingkungan pembelajaran digital untuk siswa sekolah dasar. Integrasi ini memberikan pendekatan yang berbeda dari media etnomatematika yang umumnya berfokus pada penyajian konteks budaya dan dari sistem adaptive learning yang umumnya berfokus pada personalisasi berdasarkan performa akademik tanpa memasukkan konteks budaya lokal.

Integrasi Matematika Nusantara dalam Adaptive Learning

Integrasi Matematika Nusantara memberikan dimensi kontekstual pada mekanisme pembelajaran adaptif. Dalam sistem yang dikembangkan, konteks budaya tidak hanya digunakan sebagai ilustrasi atau tampilan, tetapi ditempatkan sebagai bagian dari materi dan latihan matematika yang diproses dalam alur pembelajaran adaptif. Dengan demikian, personalisasi tidak hanya diarahkan pada "seberapa sulit soal yang diberikan kepada siswa", tetapi juga pada "materi dan konteks seperti apa yang digunakan untuk membantu siswa memahami konsep matematika". Temuan bahwa siswa dan guru memberikan respons positif terhadap konten Matematika Nusantara menunjukkan bahwa konteks budaya lokal dapat menjadi salah satu sumber untuk membangun pengalaman belajar yang lebih dekat dengan lingkungan siswa. Hal ini sejalan dengan perspektif etnomatematika D'Ambrosio (2001), yang memandang matematika sebagai pengetahuan yang berkembang dalam konteks budaya dan aktivitas manusia.

Dalam konteks penelitian ini, unsur budaya lokal menjadi jembatan antara konsep matematika formal dengan pengalaman yang lebih familiar bagi siswa. Dari perspektif adaptive learning, integrasi tersebut memiliki implikasi penting. Sistem adaptif pada umumnya menggunakan data performa siswa untuk menentukan urutan, tingkat kesulitan, atau rekomendasi materi. Prototype ini memperluas pendekatan tersebut dengan menempatkan konteks budaya sebagai karakteristik konten pembelajaran yang dapat diintegrasikan dengan proses personalisasi. Oleh karena itu, kontribusi prototype bukan hanya pada adaptasi tingkat kesulitan, tetapi pada upaya menghubungkan personalisasi pembelajaran dengan relevansi budaya dalam pembelajaran matematika sekolah dasar.

Mekanisme Adaptasi Berbasis BKT dan *Rule-Based Logic*

Mekanisme adaptasi pada *prototype* menggunakan kombinasi BKT sederhana dan *rule-based logic.* BKT berfungsi memperkirakan tingkat penguasaan siswa berdasarkan riwayat respons terhadap latihan, sedangkan *rule-based logic* menerjemahkan estimasi tersebut menjadi keputusan pembelajaran. Mekanisme tersebut menghasilkan alur respons siswa → estimasi penguasaan → keputusan adaptif → rekomendasi materi dan tingkat kesulitan → respons berikutnya. Dari perspektif AI in Education, mekanisme tersebut menunjukkan bentuk awal pemanfaatan kecerdasan komputasional untuk

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

mendukung pengambilan keputusan pembelajaran. Sistem tidak sekadar menyajikan materi yang sama kepada seluruh siswa, tetapi menggunakan data interaksi siswa sebagai dasar untuk menentukan rekomendasi berikutnya. Hal ini merupakan karakteristik penting dalam adaptive learning, yaitu kemampuan sistem untuk merespons perbedaan kondisi dan perkembangan belajar peserta didik.

Akurasi rekomendasi sebesar 86,7% memberikan bukti awal bahwa kombinasi BKT sederhana dan rule-based logic dapat digunakan untuk menghasilkan rekomendasi yang sesuai dengan kondisi belajar siswa pada skala proof of concept. Namun, angka tersebut perlu dipahami sebagai kinerja awal mekanisme rekomendasi, bukan sebagai bukti bahwa sistem telah memiliki kemampuan AI yang setara dengan sistem intelligent tutoring atau model pembelajaran mesin yang lebih kompleks. Penggunaan rule-based logic juga memberikan keuntungan dari sisi transparansi. Keputusan sistem dapat ditelusuri berdasarkan kondisi penguasaan dan aturan yang telah ditentukan. Karakteristik tersebut penting dalam konteks pendidikan dasar karena guru dapat memahami alasan di balik rekomendasi yang diberikan sistem.

Dengan demikian, pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini memperlihatkan bahwa pada tahap awal pengembangan, mekanisme adaptasi yang sederhana, terstruktur, dan dapat dijelaskan dapat menjadi alternatif sebelum sistem dikembangkan menuju model AI yang lebih kompleks. Temuan ini memperkuat pandangan bahwa pemanfaatan AI dalam pendidikan tidak selalu harus dimulai dengan algoritma yang kompleks. Pada tahap proof of concept, yang lebih penting adalah membuktikan bahwa data belajar dapat diproses menjadi informasi yang bermakna dan selanjutnya digunakan untuk mendukung keputusan pembelajaran. Dalam penelitian ini, proses tersebut diwujudkan melalui estimasi penguasaan BKT dan aturan rekomendasi berbasis kondisi belajar siswa.

Kepraktisan dan Penerimaan Pengguna

Hasil TAM menunjukkan rata-rata persentase sebesar 84,2% dengan kategori “Sangat Praktis”. Dimensi Attitude Toward Using memperoleh skor tertinggi, yaitu 86,2%, diikuti Perceived Usefulness sebesar 84,6%, Perceived Ease of Use sebesar 83,6%, dan Behavioral Intention sebesar 82,4%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa penerimaan pengguna terhadap prototype tidak hanya berkaitan dengan kemudahan penggunaan, tetapi juga dengan persepsi bahwa aplikasi memiliki manfaat dalam proses pembelajaran. Dalam perspektif penerimaan teknologi, persepsi mengenai kegunaan dan kemudahan penggunaan merupakan faktor penting yang dapat memengaruhi sikap pengguna terhadap teknologi. Pada penelitian ini, tingginya skor Perceived Usefulness dan Perceived Ease of Use menunjukkan bahwa pengguna dapat memahami fungsi aplikasi dan melihat potensinya sebagai media pendukung pembelajaran matematika. Skor Attitude Toward Using sebesar 86,2% juga penting karena menunjukkan adanya penerimaan positif terhadap penggunaan aplikasi. Hal tersebut dapat dikaitkan dengan karakteristik prototype yang menggabungkan latihan matematika dengan konteks Matematika Nusantara dan rekomendasi pembelajaran yang disesuaikan dengan respons siswa. Dengan kata lain, penerimaan pengguna kemungkinan tidak hanya dipengaruhi oleh aspek teknis aplikasi, tetapi juga oleh relevansi konten dan pengalaman belajar yang diberikan. Namun demikian, hasil TAM dalam penelitian ini perlu diposisikan sebagai indikator kepraktisan dan penerimaan awal, bukan sebagai bukti efektivitas pembelajaran. Penelitian ini belum menggunakan desain eksperimen dengan kelompok kontrol, sehingga belum dapat disimpulkan bahwa penggunaan aplikasi secara langsung menyebabkan peningkatan hasil belajar siswa.

Kontribusi terhadap AI in Education dan Adaptive Learning

Secara ilmiah, penelitian ini memberikan kontribusi pada tiga aspek. Pertama, penelitian menunjukkan bagaimana mekanisme adaptasi berbasis data belajar dapat diterapkan pada konteks pendidikan dasar melalui kombinasi BKT sederhana dan rule-based logic. Kedua, penelitian mengintegrasikan mekanisme adaptasi tersebut dengan konteks Matematika Nusantara sehingga personalisasi pembelajaran tidak hanya mempertimbangkan performa siswa, tetapi juga konteks budaya dalam penyajian materi. Ketiga, penelitian menghasilkan proof of concept yang dapat menjadi dasar untuk pengembangan sistem pembelajaran adaptif yang lebih kompleks pada penelitian berikutnya. Kontribusi tersebut perlu dipahami dalam batasan bahwa prototype belum mengembangkan algoritma AI baru.

Kebaruan penelitian lebih terletak pada integrasi adaptasi berbasis AI sederhana, konten Matematika Nusantara, dan mekanisme rekomendasi pembelajaran dalam satu prototype untuk siswa kelas V sekolah dasar. Posisi ini sekaligus memperjelas bahwa penelitian merupakan tahap awal pengembangan teknologi, bukan penelitian yang bertujuan menghasilkan model AI baru. Dari perspektif pengembangan adaptive learning, prototype memberikan dasar bahwa personalisasi pembelajaran

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

dapat dikombinasikan dengan pendekatan pembelajaran yang kontekstual. Sementara dari perspektif AI in Education, penelitian menunjukkan bahwa data respons siswa dapat digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pembelajaran secara otomatis dan terstruktur. Kombinasi kedua perspektif tersebut menjadi dasar penting untuk pengembangan sistem yang lebih adaptif dan prediktif pada penelitian selanjutnya.

Keterbatasan Penelitian dan Implikasi Pengembangan

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, uji coba terbatas hanya dilakukan pada satu sekolah dengan 30 siswa, sehingga hasil penelitian belum dapat digeneralisasikan pada populasi siswa sekolah dasar yang lebih luas. Kedua, penelitian berfokus pada validasi, fungsionalitas, kepraktisan, dan pembuktian awal mekanisme rekomendasi pada TKT 3, sehingga belum mengukur efektivitas pembelajaran melalui desain eksperimen atau quasi-experiment. Ketiga, mekanisme adaptasi masih menggunakan BKT sederhana dan rule-based logic, sehingga kemampuan personalisasi masih terbatas dibandingkan dengan pendekatan machine learning, deep learning, atau intelligent tutoring system yang menggunakan model prediktif lebih kompleks. Keterbatasan tersebut sekaligus memberikan arah pengembangan penelitian selanjutnya.

Penelitian berikutnya perlu melibatkan jumlah siswa dan sekolah yang lebih besar serta menggunakan desain quasi-experiment dengan kelompok pembanding untuk menguji efektivitas aplikasi terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dan keterlibatan belajar. Selain itu, mekanisme BKT dapat dikembangkan menggunakan data interaksi siswa yang lebih besar sehingga sistem dapat menghasilkan estimasi penguasaan dan rekomendasi yang lebih akurat. Integrasi metode machine learning, analisis pola belajar, dan mekanisme umpan balik yang lebih dinamis juga dapat dikembangkan untuk meningkatkan kemampuan personalisasi sistem. Dengan demikian, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa prototype Aplikasi Matematika Nusantara Adaptif telah memberikan bukti awal kelayakan teknis, kepraktisan, dan kemampuan rekomendasi adaptif. Kontribusi utamanya adalah menunjukkan kemungkinan integrasi AI adaptif sederhana dengan pembelajaran matematika berbasis budaya lokal pada pendidikan dasar. Temuan tersebut menjadi landasan untuk pengembangan sistem pembelajaran adaptif yang lebih canggih, terukur, dan teruji secara empiris pada penelitian berikutnya.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa:

1. Arsitektur *Proof of Concept* aplikasi Matematika Nusantara adaptif berbasis AI berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan mengintegrasikan konten Matematika Nusantara yang bersumber dari konteks budaya Deli Serdang dengan mekanisme adaptasi berbasis *rule-based logic* dan *Bayesian Knowledge Tracing* (BKT) sederhana. Prototype dilengkapi dengan fitur navigasi materi, latihan adaptif, rekomendasi pembelajaran, serta dashboard guru untuk mendukung pemantauan aktivitas dan perkembangan belajar siswa.
2. Mekanisme adaptasi berhasil diimplementasikan sebagai mekanisme pengambilan keputusan pembelajaran berbasis data respons siswa. Kombinasi BKT dan *rule-based logic* mampu menghasilkan rekomendasi materi dan tingkat kesulitan latihan berdasarkan estimasi penguasaan siswa dengan akurasi rekomendasi sebesar 86,7%. Hasil tersebut menunjukkan bukti awal bahwa mekanisme adaptasi sederhana dapat digunakan untuk mendukung personalisasi pembelajaran pada tahap *Proof of Concept*.
3. Prototype memenuhi aspek fungsionalitas dan kepraktisan awal. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa 100% fitur yang diuji dapat berjalan tanpa error kritis, sedangkan hasil kuesioner TAM memperoleh persentase rata-rata sebesar 84,2% dengan kategori “Sangat Praktis”. Temuan ini menunjukkan bahwa prototype dapat digunakan oleh pengguna pada tahap uji coba terbatas dan memiliki penerimaan awal yang positif.
4. Kontribusi penelitian terhadap pengembangan teknologi pendidikan terletak pada integrasi pembelajaran adaptif dengan konteks budaya lokal. Penelitian ini menunjukkan bahwa mekanisme personalisasi berbasis data belajar dapat dipadukan dengan konten Matematika Nusantara dalam lingkungan pembelajaran digital untuk siswa sekolah dasar. Dengan demikian, penelitian tidak hanya menghasilkan prototype teknologi, tetapi juga memberikan bukti awal mengenai kemungkinan penerapan pembelajaran adaptif yang personal sekaligus kontekstual dalam pendidikan dasar.
5. Capaian penelitian masih berada pada tingkat *Proof of Concept* (TKT 3) sehingga hasil penelitian belum dapat digunakan untuk menyimpulkan efektivitas aplikasi terhadap peningkatan hasil belajar secara luas. Prototype masih diuji pada skala terbatas,

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

yaitu satu sekolah dengan 30 siswa, dan mekanisme adaptasi masih menggunakan BKT sederhana serta rule-based logic. Oleh karena itu, hasil penelitian perlu dipahami sebagai bukti awal kelayakan teknis, fungsional, dan kepraktisan, bukan sebagai bukti efektivitas pembelajaran pada populasi yang lebih luas.

6. Pengembangan selanjutnya diarahkan pada peningkatan kemampuan adaptasi, validasi empiris, dan kesiapan implementasi sistem. Penelitian berikutnya perlu melibatkan jumlah siswa dan sekolah yang lebih besar serta menggunakan desain quasi-experiment atau eksperimen untuk menguji efektivitas aplikasi terhadap kemampuan pemecahan masalah matematis dan keterlibatan belajar siswa. Mekanisme BKT dan rule-based logic juga dapat dikembangkan dengan memanfaatkan data interaksi belajar yang lebih besar dan pendekatan machine learning atau metode AI yang lebih kompleks. Selain itu, sistem perlu dikembangkan menuju prototype yang lebih matang, stabil, dan siap diimplementasikan pada lingkungan pembelajaran yang lebih luas.

Secara keseluruhan, penelitian ini telah mencapai target TKT 3 melalui pengembangan Proof of Concept aplikasi Matematika Nusantara adaptif yang mengintegrasikan mekanisme adaptasi berbasis BKT dan rule-based logic dengan konteks budaya lokal. Prototype memberikan bukti awal bahwa personalisasi pembelajaran berbasis data dapat diintegrasikan dengan pembelajaran matematika yang kontekstual. Hasil penelitian ini menjadi dasar bagi pengembangan teknologi pembelajaran adaptif yang lebih akurat, teruji secara empiris, dan siap digunakan pada skala implementasi yang lebih luas.

DAFTAR PUSTAKA

Adisti, A. R., & Widyastuti, W. (2025). Building the Foundations: Integrating Multiple Intelligences and Digital Literacy to Support Merdeka Belajar in Teaching English to Young Learners. In Proceeding of International Interdiciplinary Conference and Research Expo (Vol. 2, No. 1, pp. 180-194). https://doi.org/10.18326/iicare.v2i1.931

Ambrósio, U. (2006). *Ethnomathematics: Link between traditions and modernity*. Brill.

Azzahra, A. F., & Albar, W. F. (2026). Pengembangan E-Modul Berbantuan Video AI dengan Model Flipped Classroom untuk Meningkatkan Kemampuan Literasi Numerasi Siswa. *Journal of Education Research, 7*(2), 618-630.

Baker, R. S., & Yacef, K. (2009). The state of educational data mining in 2009: A review and future visions. *Journal of educational data mining, 1*(1), 3-17. https://doi.org/10.5281/zenodo.3554657

Bangun, O. (2025, December). Integrating Digital Learning Innovation in Islamic Early Childhood Teacher Education for Sustainable Development. In *Proceeding of Annual International Conference on Islamic Education and Language (AICIEL)* (pp. 465-470).

Batubara, H. A., Ghazali, A., & Bangun, O. (2025). Pemanfaatan Artificial Intelligency (AI) Dalam Pembelajaran Sekolah Dasar. *Jurnal Kolaboratif Sains, 8*(7), 3953-3957. https://doi.org/10.56338/jks.v8i7.8074

Brusilovsky, P., & Millán, E. (2007). User models for adaptive hypermedia and adaptive educational systems. In *The adaptive web: methods and strategies of web personalization* (pp. 3-53). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-72079-9_1

Direktorat Jenderal Pendidikan Tinggi. (2024). *Panduan Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*. Jakarta: Kemdikbudristek.

Fajar, O. P. (2026). *Pengembangan Bahan Ajar Matematika Bilingual Berbasis AI ChatGPT untuk Meningkatkan Penalaran Logis Siswa*. (Skripsi, UIN Raden Intan Lampung).

Gligorea, I., Cioca, M., Oancea, R., Gorski, A. T., Gorski, H., & Tudorache, P. (2023). Adaptive learning using artificial intelligence in e-learning: A literature review. *Education Sciences, 13*(12), 1216. https://doi.org/10.3390/educsci13121216

Holmes, W., Bialik, M., & Fadel, C. (2019). *Artificial intelligence in education promises and implications for teaching and learning*. Center for Curriculum Redesign. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/10139722

Kemdikbudristek. (2022). *Kurikulum Merdeka: Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum*. Jakarta: Kemdikbudristek.

Luckin, R., & Holmes, W. (2016). *Intelligence unleashed: An argument for AI in education*. https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1475756

Marian, F. (2025). Sistematic Literature Review: Inovasi Media Pembelajaran Matematika yang Menarik dan Interaktif untuk Siswa. *Jurnal Math Educator Nusantara: Wahana Publikasi Karya Tulis Ilmiah di Bidang Pendidikan Matematika, 11*(2), 398-413. https://doi.org/10.29407/jmen.v11i2.24809

Mayer, R. E. (2024). The past, present, and future of the cognitive theory of multimedia learning. *Educational Psychology Review, 36*(1), 8. https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1

OECD. (2018). *Innovating Education and Educating for Innovation*. Paris: OECD Publishing.

Richardo, R. (2020). Pembelajaran matematika melalui konteks Islam nusantara: Sebuah kajian etnomatematika di Indonesia. *Jurnal Pendidikan Matematika (Kudus), 3*(1), 73-82. http://dx.doi.org/10.21043/jpm.v3i1.6998

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

ISSN: 2598-8565 (media cetak)
ISSN: 2620-4339 (media online)

Spector, J. M. (2019). *Foundations of Educational Technology: Integrative Approaches and Interdisciplinary Perspectives*.

Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development)*. Bandung: Alfabeta.

Usman, K., Rihonggao, T., Alfarizi, M. A., & Putranto, D. W. (2026). Implementasi Artificial Intelligence pada Aplikasi Math Helper SMP sebagai Sistem Pembelajaran Matematika Adaptif Berbasis Website. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bayanika,* 1(1), 22-30.

Yeni, E. M. (2015). Kesulitan belajar matematika di sekolah dasar. *Jupendas: Jurnal Pendidikan Dasar, 2*(2), 71281.

Zahrani, C., Rodliyah, I., Saadah, N., Pratiwi, E., Rochmania, D., Dwinata, A., & Siswanto, B. (2025, October). Inovasi Pembelajaran Berbasis Artificial Intelligence pada Matakuliah Pendidikan dan Konsep Dasar Matematika. In *Prosiding Seminar Nasional Sains, Teknologi, Ekonomi, Pendidikan dan Keagamaan (SAINSTEKNOPAK)* (Vol. 9, pp. 377-384).

Zuhri, Z., Dewi, S. V., Kusuma, J. W., Rafiqoh, S., Mahuda, I., & Hamidah, H. (2023). Implementation of ethnomathematics strategy in Indonesian traditional games as mathematics learning media. *Journal of Innovation in Educational and Cultural Research, 4*(2), 294-302. https://doi.org/10.46843/jiecr.v4i2.613

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.