

Pembelajaran Matematika Berbasis Gestur: Pengembangan Game Edukasi Menggunakan Kinect V2 untuk Pendidikan Sekolah Dasar

Awang Pradana^{*1}, Nur Ainun²

^{1,2}Program Studi Teknik Komputer, Univeristas Borneo Tarakan, Indonesia
Email: ¹awang.pradana@borneo.ac.id, ²nurainun1417@gmail.com

Abstrak

Pembelajaran matematika di sekolah dasar memerlukan media yang tidak hanya menyajikan materi secara visual, tetapi juga mampu melibatkan siswa melalui aktivitas interaktif. Penelitian ini bertujuan menghasilkan media pembelajaran matematika berbasis Kinect V2 yang mengintegrasikan gerakan tubuh dan tangan sebagai antarmuka interaksi pada materi operasi hitung dasar. Metode penelitian yang digunakan adalah Research and Development dengan model pengembangan 4D, yang meliputi tahap Define, Design, Develop, dan Disseminate. Penelitian dilaksanakan di SD Muhammadiyah 1 Tarakan dengan melibatkan 20 siswa kelas IV yang dipilih menggunakan teknik purposive sampling. Materi yang dikembangkan mencakup penjumlahan, pengurangan, dan perkalian, sedangkan evaluasi produk dilakukan melalui pengujian teknis sistem Kinect V2, pengujian fungsional aplikasi, validasi ahli media, validasi ahli materi, serta angket respons siswa. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem skeleton tracking dan deteksi jarak mampu mengenali gerakan pengguna pada rentang 0,8 hingga 4,5 meter dengan akurasi 100% sesuai skenario uji. Pengujian fungsional menggunakan metode black-box menunjukkan bahwa seluruh fitur berjalan sesuai rancangan dengan tingkat keberhasilan 100%. Penilaian ahli media memperoleh skor 80,71%, sedangkan penilaian ahli materi mencapai 94,42%. Respons siswa terhadap penggunaan media menunjukkan skor rata-rata 4,47 dari skala 5, yang merepresentasikan penerimaan pengguna pada kategori sangat baik. Namun, evaluasi juga menemukan kelemahan pada aspek perpindahan antarhalaman dengan skor 3,40, sehingga perbaikan alur navigasi, petunjuk visual, dan umpan balik antarmuka diperlukan pada pengembangan berikutnya. Temuan penelitian ini memperlihatkan bahwa pemanfaatan Kinect V2 dapat menghadirkan model interaksi berbasis gerakan dalam pembelajaran matematika sekolah dasar dan memberikan kontribusi terhadap pengembangan media pembelajaran yang lebih partisipatif, imersif, dan sesuai dengan karakteristik siswa.

Kata kunci: *Game Edukasi, Kinect V2, Media Pembelajaran Interaktif, Pembelajaran Matematika, Sekolah Dasar.*

Gesture-Based Mathematics Learning: Development of a Kinect V2 Educational Game for Elementary Education

Abstract

Mathematics learning in elementary schools requires instructional media that not only present content visually but also engage students through interactive activities. This study aimed to develop a Kinect V2-based mathematics learning medium that integrates body and hand movements as the main interaction interface for basic arithmetic operations. The research employed a Research and Development approach using the 4D development model, consisting of the Define, Design, Develop, and Disseminate stages. The study was conducted at SD Muhammadiyah 1 Tarakan and involved 20 fourth-grade students selected through purposive sampling. The developed learning medium covered addition, subtraction, and multiplication, while product evaluation was conducted through technical testing of the Kinect V2 system, functional testing of the application, media expert validation, subject-matter expert validation, and student response questionnaires. The results showed that the skeleton tracking and distance detection systems were able to recognize user movements within a range of 0.8 to 4.5 meters with 100% accuracy based on the testing scenarios. Functional testing using the black-box method indicated that all application features operated according to the design specifications, achieving a 100% success rate. The media expert assessment obtained a score of 80.71%, while the subject-matter expert assessment reached 94.42%. Student responses to the use of the learning medium achieved an average score of 4.47 out of 5, indicating a very good level of user acceptance. However, the evaluation also identified a limitation in page-to-page navigation, which received the lowest score of 3.40; therefore, clearer navigation flow, visual guidance, and interface feedback are needed in future development. These findings demonstrate that the integration of

Kinect V2 can provide a gesture-based interaction model for elementary mathematics learning and contribute to the development of more participatory, immersive, and learner-centered instructional media.

Keywords: *Educational Game, Elementary School Students, Interactive Learning Media, Kinect V2, Mathematics Learning.*

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi digital telah memengaruhi berbagai aspek kehidupan, termasuk pendidikan. Dalam proses belajar mengajar, teknologi tidak lagi berfungsi hanya sebagai alat bantu penyampaian materi, tetapi juga sebagai sarana untuk membangun pengalaman belajar yang lebih terbuka, adaptif, dan interaktif [1]. Kehadiran media pembelajaran berbasis teknologi dapat memperluas akses terhadap materi, memperkaya bentuk penyajian informasi, serta meningkatkan keterlibatan siswa melalui aktivitas visual, audio, maupun kinestetik [2]. Oleh karena itu, pemilihan media pembelajaran perlu disesuaikan dengan karakteristik materi dan kebutuhan perkembangan peserta didik.

Matematika sering dipersepsikan sebagai mata pelajaran yang sulit karena memuat konsep abstrak yang tidak selalu mudah divisualisasikan oleh siswa sekolah dasar[3]. Hasil observasi awal menunjukkan bahwa sebagian siswa memiliki hasil belajar matematika yang kurang memuaskan dan menyatakan bahwa materi operasi hitung sulit dipahami. Kondisi tersebut dapat dipengaruhi oleh keterbatasan representasi konkret, rendahnya variasi media, serta pendekatan pembelajaran yang masih berpusat pada penjelasan verbal dan latihan tertulis[4].

Pada usia sekolah dasar, proses berpikir siswa masih sangat terbantu oleh pengalaman konkret, visual, dan motorik. Pendekatan berbasis gestur menjadi relevan karena gerakan tubuh dapat berperan sebagai representasi eksternal yang membantu siswa mengarahkan perhatian, mengurangi beban memori kerja, serta menghubungkan simbol matematika dengan tindakan fisik [5][6]. Dengan demikian, media yang melibatkan aktivitas tubuh tidak hanya membuat pembelajaran lebih menarik, tetapi juga berpotensi mendukung pemahaman konsep melalui keterlibatan sensorimotor.

Kinect V2 merupakan perangkat sensor gerak yang memungkinkan pengguna berinteraksi dengan sistem melalui gerakan tubuh dan tangan tanpa perangkat input tambahan seperti *mouse* atau *keyboard* [7][8][9]. Karakteristik ini sesuai untuk pembelajaran matematika sekolah dasar karena siswa dapat memilih menu, menggerakkan karakter, dan menjawab soal melalui aktivitas fisik yang natural. Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan merancang dan mengimplementasikan media pembelajaran matematika berbasis Kinect V2 pada materi operasi hitung dasar. Integrasi sensor gerak dengan permainan edukatif diharapkan dapat meningkatkan partisipasi aktif siswa, menghadirkan pengalaman belajar yang menyenangkan, dan menyediakan alternatif media pembelajaran yang lebih interaktif.

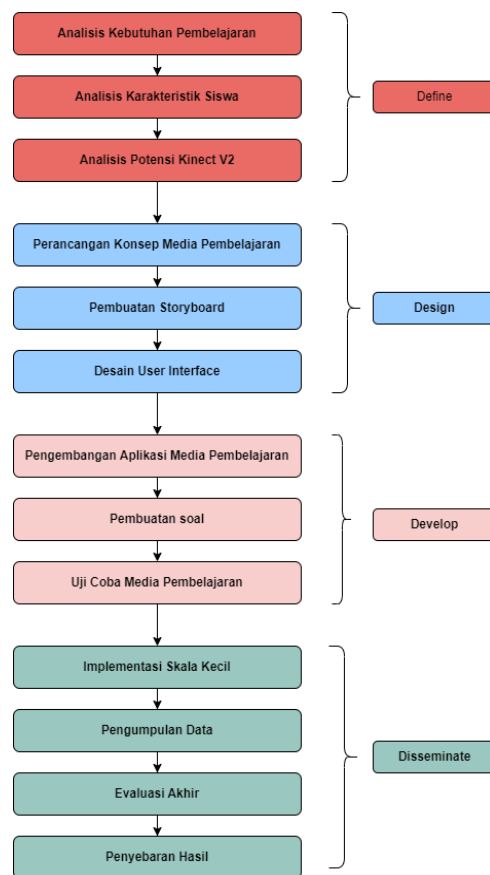
2. METODE PENELITIAN

2.1 Jenis Penelitian

Jenis Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model 4D. R&D merupakan penelitian yang bertujuan untuk membuat sesuatu yang baru dan berguna untuk menyelesaikan masalah tertentu[10]. Metode ini dipilih karena penelitian ini fokus pada pengembangan produk baru berupa media pembelajaran matematika yang inovatif menggunakan Kinect V2. Penggunaan R&D dalam proses pengembangan yang sistematis mulai dari analisis kebutuhan hingga implementasi produk akhir, serta memberikan kesempatan untuk melakukan validasi dan pengujian produk secara bertahap. Hal ini sangat penting untuk memastikan kualitas media pembelajaran yang dikembangkan. Metode *Research and Development* (R&D) dalam penelitian ini menggunakan model 4D. Model 4D, terdiri dari empat tahap: *Define* (Pendefinisian), *Design* (Perancangan), *Develop* (Pengembangan), dan *Disseminate* (Penyebaran)[11].

2.2 Tahapan Penelitian

Untuk memastikan penelitian ini memiliki langkah pelaksanaan dan prosedur terarah, maka diperlukan sebuah alur tahapan penelitian sebagai berikut.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Model pengembangan pembelajaran yang ditampilkan dalam Pada gambar 1. menggambarkan sebuah alur sistematis yang terdiri dari empat tahap utama yaitu *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate* (4D). Tahap *Define* dimulai dengan analisis kebutuhan pembelajaran untuk mengidentifikasi apa yang diperlukan dalam proses belajar[12], dilanjutkan dengan analisis karakteristik siswa untuk memahami kebutuhan peserta didik, dan analisis potensi Kinect V2 untuk melihat pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran. Pada tahap *Design*, fokus diberikan pada perancangan konsep media pembelajaran, pembuatan desain *user interface* untuk antarmuka pengguna. Selanjutnya, tahap *Develop* meliputi pengembangan aplikasi media pembelajaran sesuai rancangan yang telah dibuat, pembuatan soal untuk evaluasi, dan uji coba media pembelajaran[13]. Tahap terakhir yaitu *Disseminate* mencakup implementasi dalam skala kecil, pengumpulan data hasil implementasi, evaluasi akhir terhadap keseluruhan hasil, dan penyebaran hasil pengembangan[14]. Setiap tahap dalam model ini saling berkaitan dan harus dilaksanakan secara berurutan untuk memastikan pengembangan media pembelajaran yang efektif dan terukur. Model 4D ini memberikan panduan yang jelas dan terstruktur dalam proses pengembangan media pembelajaran[15], mulai dari tahap analisis awal hingga implementasi dan evaluasi akhir.

2.3 Tahap Pengumpulan Data

Dalam penelitian ini, teknik pengumpulan data dilakukan melalui beberapa metode untuk memperoleh informasi yang relevan mengenai kelayakan media pembelajaran berbasis Kinect V2. Observasi dilakukan untuk mencatat proses interaksi siswa dengan media pembelajaran, termasuk pengujian *skeleton tracking* dan deteksi jarak Kinect V2[16]. Pengujian fungsional atau *black-box testing* digunakan untuk memastikan bahwa setiap fitur aplikasi berjalan sesuai fungsi yang dirancang. Validasi ahli dilakukan untuk menilai kelayakan media dari aspek teknis, tampilan, dan kesesuaian materi. Respons pengguna dikumpulkan melalui angket kuesioner skala *Likert* 1-5.

Instrumen angket respons siswa disusun berdasarkan kisi-kisi dua indikator utama, yaitu tampilan visual serta interaksi dan kemudahan penggunaan. Validitas instrumen dilakukan melalui validasi isi oleh ahli media dan ahli materi dengan menilai relevansi butir, kejelasan bahasa, dan kesesuaian pernyataan terhadap tujuan evaluasi produk. Butir yang dinilai kurang operasional direvisi sebelum digunakan pada uji coba. Reliabilitas empiris instrumen belum dihitung secara statistik karena uji coba dilakukan pada skala terbatas dengan 20 siswa;

oleh sebab itu, data respons pengguna dalam penelitian ini diposisikan sebagai gambaran penerimaan awal yang perlu dikonfirmasi melalui pengujian dengan sampel lebih besar pada penelitian berikutnya.

2.4 Teknik Analisis Data

Dalam penelitian ini, data yang dikumpulkan dianalisis dengan menggunakan beberapa pendekatan, sesuai dengan jenis dan tujuan data tersebut. Berikut teknik analisis data yang digunakan:

1. Analisis Deskriptif (*Skeleton tracking & Deteksi Jarak*) Data hasil pengujian gerakan tubuh dan deteksi jarak dianalisis menggunakan rumus akurasi. Rumus untuk menghitung akurasi pengujian *skeleton tracking* dan deteksi jarak dapat dilihat pada persamaan 1.

$$Akurasi = \left(\frac{\text{Jumlah Berhasil Terdeteksi}}{\text{Jumlah Percobaan}} \right) \times 100\% \quad (1)$$

2. Analisis Fungsional (*Black-box Testing*) Hasil pengujian fungsi sistem dicatat dalam bentuk tabel dan dianalisis berdasarkan kecocokan antara *output* yang diharapkan dengan *output* aktual yang dihasilkan sistem.
3. Analisis Validasi Ahli Data dari angket ahli media dan ahli materi dianalisis dengan menghitung skor persentase tiap validasi menggunakan rumus pada persamaan 2 berikut:

$$Persentase = \left(\frac{\text{Skor Diperoleh}}{\text{Skor Maksimal}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

4. Analisis Respons Pengguna Data angket skala *Likert* dianalisis dengan menghitung rerata setiap butir dan rerata setiap indikator. Hasil rerata digunakan untuk menilai kecenderungan penerimaan pengguna terhadap media, sedangkan butir dengan skor terendah dianalisis sebagai dasar identifikasi kelemahan produk dan rekomendasi pengembangan.

3. IMPLEMENTASI SISTEM

Pada sub bab ini akan membahas bagaimana implementasi selama penelitian ini dilaksanakan.

3.1. Implementasi Sistem Pengembangan Media Pembelajaran

Pengembangan media pembelajaran matematika berbasis Kinect V2 dilakukan menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model 4D yang terdiri dari tahap *Define*, *Design*, *Develop* dan *Disseminate*. Setiap tahap ini memiliki tujuan untuk memastikan media pembelajaran yang dirancang sesuai dengan kebutuhan dan dapat diimplementasikan dengan baik.

3.1.1 Tahap *Define*

Tahap pertama adalah tahap pendefinisian yang berfungsi untuk mengidentifikasi dan menganalisis kebutuhan yang diperlukan dalam pengembangan media pembelajaran. Analisis kebutuhan media pembelajaran ini dilakukan melalui observasi di lapangan dan studi literatur untuk memahami permasalahan yang ada dalam pembelajaran. Setelah melakukan observasi di lapangan, ditemukan beberapa masalah dalam pembelajaran matematika sebagai berikut:

1. Tingkat keterlibatan siswa rendah, sebagian besar siswa cenderung tidak antusias dan kurang berpartisipasi aktif dalam kegiatan pembelajaran.
2. Metode pembelajaran konvensional, guru menyampaikan materi secara verbal, siswa mendengarkan kemudian guru akan mengarahkan siswa untuk mengerjakan soal-soal latihan. Pola ini membuat pembelajaran menjadi monoton dan kurang menarik bagi siswa.
3. Kurangnya media pembelajaran interaktif, media pembelajaran yang digunakan masih terbatas pada buku dan papan tulis. Belum ada pemanfaatan teknologi modern yang dapat membuat pembelajaran menarik bagi siswa.

3.1.2 Tahap *Design*

Tahap ini bertujuan untuk merancang media pembelajaran berdasarkan hasil analisis pada tahap pendefinisian sebelumnya. Pada tahap ini, perancangan meliputi:

1. Perancangan alur navigasi aplikasi. Navigasi dirancang sederhana dimulai dari Halaman Utama, Halaman Loading, kemudian Menu Utama, dilanjutkan ke Halaman Belajar atau Bermain, dan berakhir di Halaman Skor. Desain ini memastikan siswa dapat dengan mudah memahami urutan penggunaan media.
2. Perancangan dua jenis interaksi, yaitu GUI *Cursor* yang menggunakan pelacakan gerakan tangan untuk navigasi menu dan gerakan posisi tubuh untuk menjawab soal dalam permainan. Kedua interaksi ini dibuat untuk meningkatkan keterlibatan pengguna dan memanfaatkan potensi penuh *Kinect V2*.
3. Perancangan desain *visual* antarmuka dengan konsep "Ekspedisi Angka". Desain ini menggabungkan unsur petualangan dan pembelajaran matematika, yang cocok untuk anak-anak sekolah dasar. Warna cerah, karakter yang menyenangkan, dan ikon-ikon edukatif digunakan untuk menarik minat siswa. Seluruh elemen antarmuka seperti latar belakang Halaman Utama, Halaman Loading, Menu Utama, Halaman Belajar Materi Penjumlahan, Pengurangan, Perkalian, Pembagian, dan Halaman Skor dirancang menggunakan *Adobe Illustrator*. Ada beberapa elemen juga diambil dari *Canva*. Aset-aset ini dibuat dalam format vektor untuk memastikan kualitas tinggi saat diubah ukurannya, kemudian diekspor ke format PNG dengan latar belakang transparan. Setelah itu, aset diimpor ke *Unity* melalui folder *Assets* dan diterapkan ke dalam *Canvas* masing-masing *scene*. Desain ini membantu pengembang untuk memiliki tampilan *visual* yang terarah dan konsisten sebelum diimplementasikan ke dalam *Unity*.

Hasil Desain Keseluruhan Antarmuka Media Pembelajaran pada yang dibuat pada *Adobe Illustrator* dapat dilihat pada Gambar 2.

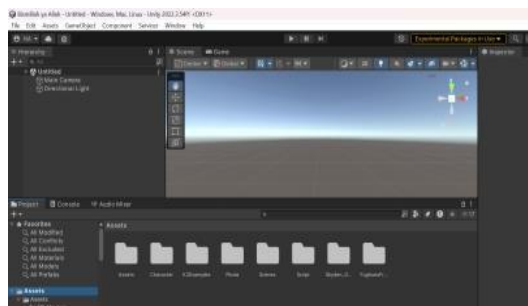


Gambar 2. Desain Keseluruhan Antarmuka Media Pembelajaran pada Adobe Illustrator

3.1.3 Tahap Develop

Tahap ketiga tahap pengembangan mencakup implementasi rancangan menjadi produk nyata menggunakan *Unity* sebagai *Game Engine* dan Microsoft Kinect SDK untuk integrasi sensor Kinect V2. Tahap-tahap pengembangan media pembelajaran matematika berbasis Kinect V2 sebagai berikut :

1. Jalankan *Unity Hub* klik *New Project* kemudian pilih template 3D beri nama misalnya *Ekspedisi Angka* lalu pilih lokasi folder dan create. tunggu *Unity* menginisialisasi project pengguna akan dihadapkan pada *Layout Default* yang mencakup berbagai panel kerja seperti *Scene View*, *Game View*, *Hierarchy Panel*, *Project Panel*, *Inspector Panel* dan *Console*. *Layout Default* dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Lembar Kerja pada *Unity*

2. Import Kinect V2 *Examples* with MS-SDK dengan cara klik menu *Window* pada menu bar *Unity* pilih *Package Manager* dari dropdown menu yang muncul. Dalam *Package Manager* cari dan pilih lalu *Kinect V2 Examples* with MS-SDK lalu klik tombol *Import* untuk mengimpor *package* ke dalam project. Tunggu

proses import hingga selesai. Proses import Kinect V2 *Examples with MS-SDK* dapat dilihat pada Gambar 4.



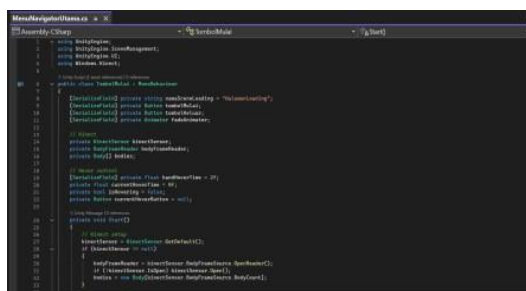
Gambar 4. Lembar Kerja pada Unity

3. Buat Folder Struktur di *Project* klik kanan pada panel *project* pilih *create* pilih folder dan buat struktur yang meliputi *Asset*, *Scene*, *Script*, *Audio*, *Kinect SDK*. Folder struktur di *Unity*.
4. Buat *Scene* dengan cara klik file pilih *New Scene* kemudian simpan dengan nama Halaman Utama di folder *Asset/Scenes*. Setelah itu dilakukan penambahan elemen UI dengan membuat sebuah *Canvas* dengan cara klik kanan pada *panel hierarchy* pilih UI lalu pilih *Canvas* yang berguna sebagai wadah seluruh komponen antarmuka pengguna. Kemudian didalam *Canvas* tambahkan *Image* sebagai latar belakang atau logo teks *game*, lalu buat dua *Button* UI yang diberi label Tombol Mulai dan Tombol Keluar. Tambahkan *GUI Cursor* untuk pelacakan tangan yang akan dikoneksikan dengan Kinect. Untuk melengkapi *Scene* Halaman Utama, perlu ditambahkan beberapa *GameObject* penting yaitu Menu Navigasi *Controller* yang akan mengatur navigasi antar menu, *KinectController* untuk mengelola *input* dari perangkat Kinect, dan komponen *Audio* untuk mengatur suara dalam *game*. Proses Pembuatan Halaman Utama dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Proses Pembuatan Scene

5. Untuk menghubungkan *Button* Tombol Mulai, Tombol Keluar, *GUI Cursor* untuk *Kinect* serta komponen *audio* diperlukan pembuatan *script* yang akan mengatur fungsi dan interaksi dari masing-masing object tersebut. Proses pembuatan *script* dimulai dengan membuka folder *Script* dalam project *Unity*, kemudian klik kanan dan pilih *C#* untuk membuat *file script* baru. Setelah *file script* berhasil dibuat dan diklik, pengguna akan secara otomatis diarahkan ke aplikasi *Visual Studio* dimana proses coding dan pengembangan logika program akan dilakukan untuk menghubungkan semua komponen UI dan *GameObject* yang telah dibuat. Proses Pembuatan *Script* Halaman Utama dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Script Halaman Utama

6. Tahap terakhir dari pengembangan adalah melakukan *build* aplikasi. Buka *Build Settings* melalui menu *File > Build Settings*, kemudian tambahkan semua scene yang telah dibuat ke dalam *Scenes in Build*. Pilih *platform Windows Standalone* dan atur *architecture* ke *x86_64* untuk kompatibilitas dengan *Kinect V2*. Pada *Player Settings*, konfigurasi nama aplikasi, versi, dan pengaturan lainnya. Setelah semua pengaturan selesai, klik *Build* dan pilih folder untuk menyimpan *file executable*. *Unity* akan mengompilasi semua asset dan *script* menjadi aplikasi *standalone* (.exe) yang siap dijalankan dan didistribusikan untuk pengujian atau implementasi di lingkungan pembelajaran.

3.1.4 Tahap Disseminate

Tahap terakhir tahap penyebaran meliputi implementasi media pembelajaran di lingkungan nyata dan evaluasi respon pengguna menggunakan angket kuesioner. Persiapan implementasi dimulai dengan *setup hardware* melalui instalasi *Kinect V2*, kalibrasi sensor, dan pengaturan ruang optimal, dilanjutkan dengan pengujian sistem terlebih dahulu untuk memastikan semua fitur dalam media pembelajaran berfungsi dengan baik. Setelah semua persiapan selesai, media pembelajaran diimplementasikan kepada 20 siswa kelas IV SD sebagai subjek uji coba dalam kondisi pembelajaran yang sebenarnya

3.2. Alur Kerja Media Pembelajaran

Alur kerja media pembelajaran matematika berbasis *Kinect V2* ini dikembangkan untuk meningkatkan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran matematika dasar melalui pendekatan permainan edukatif. Alur kerja dari media ini dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu: Navigasi Menu menggunakan gerakan tangan (*GUI Cursor*) dan kontrol permainan menggunakan gerakan tubuh (*skeleton tracking*). Pembagian ini disesuaikan dengan dua mode interaksi utama dalam sistem *Kinect V2*, yakni pelacakan tangan dan pelacakan kerangka tubuh (*body skeleton*).

3.2.1 Navigasi Menu dengan Gerakan Tangan

Navigasi menu merupakan bagian pertama dalam alur kerja media pembelajaran ini. Pengguna dapat mengakses berbagai halaman melalui kontrol berbasis gerakan tangan yang dilacak oleh sensor *Kinect V2*. Tidak memerlukan perangkat input seperti *mouse* atau *keyboard*, sistem ini dapat memanfaatkan gerakan tangan sebagai pengganti kursor untuk memilih menu yang diinginkan. Sistem ini memungkinkan interaksi lebih natural dan intuitif, khususnya bagi pengguna yang terbiasa dengan kontrol berbasis tubuh. Adapun tahapan halaman yang termasuk dalam proses navigasi menu ini adalah sebagai berikut:

1. Halaman Utama Ketika membuka aplikasi media pembelajaran, pengguna pertama kali akan melihat halaman utama. Halaman ini menampilkan teks *Ekspedisi Angka* serta tombol untuk memulai permainan dan keluar. Pengguna dapat menggerakkan tangan mereka untuk mengarahkan kursor ke salah satu tombol. Setelah kursor berada di atas tombol yang dimaksud selama beberapa detik, sistem akan mengeksekusi perintah yang sesuai. Halaman utama dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan Halaman Utama

2. Halaman *Loading* Setelah memilih "Mulai", pengguna akan diarahkan ke halaman *loading*, yang menunjukkan bahwa sistem sedang mempersiapkan permainan. Animasi atau informasi pemuatan ditampilkan pada halaman ini untuk memberi tahu pengguna bahwa proses pengaturan sedang berlangsung. Halaman *loading* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Tampilan Loading in Game

3. Menu Utama Setelah halaman *loading* selesai, pengguna akan diarahkan ke menu utama permainan. Menu utama ini terdiri dari beberapa tombol yang dapat dipilih oleh pengguna untuk melanjutkan ke berbagai opsi. Terdapat tombol "Belajar" untuk masuk ke halaman belajar yang berisi materi pembelajaran matematika dan tombol "Bermain" yang digunakan untuk memulai sesi permainan. Pengguna cukup menggerakkan tangan mereka ke arah tombol yang diinginkan, dan sistem akan mendeteksi apakah kursor sudah berada di atas tombol selama beberapa detik. Setelah itu, sistem akan mengeksekusi aksi yang sesuai berdasarkan pilihan yang dipilih oleh pengguna. Menu *In-game* dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Tampilan Halaman Menu in Game

4. Halaman Belajar Halaman belajar menyajikan materi dasar matematika berupa penjumlahan dan pengurangan dalam bentuk tampilan interaktif yang menarik. Materi dijelaskan dengan bahasa sederhana agar mudah dipahami oleh siswa. Navigasi antar halaman dilakukan menggunakan gerakan tangan yang diarahkan ke tombol panah kiri atau kanan, dengan deteksi gerakan oleh *Kinect V2*. Terdapat pula tombol "X" untuk keluar dari halaman belajar dan kembali ke menu utama. Halaman Belajar dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan Halaman Materi Pembelajaran

3.2.2 Halaman Bermain dengan Gerakan Tubuh (*Skeleton tracking*)

Jika pengguna memilih tombol Bermain di menu utama, pengguna akan diarahkan ke halaman permainan interaktif. Pada tahap ini, kontrol permainan dilakukan dengan memanfaatkan fitur pelacakan kerangka tubuh (*skeleton tracking*) dari *Kinect V2*. Pada halaman ini, pengguna akan diberikan soal matematika di bagian atas layar (misalnya, $9 + 4 = \dots$). Di depan karakter, terdapat tiga kotak jawaban dengan angka yang berbeda. Untuk memilih jawaban yang benar, pengguna harus menggeser tubuh ke kiri, tengah, atau kanan untuk mengarahkan karakter ke jawaban yang dipilih. *Kinect V2* akan mendeteksi posisi tubuh pengguna dan menggerakkan karakter secara real-time berdasarkan posisi tersebut. Jika jawaban yang dipilih benar, skor akan

bertambah. Sebaliknya, jika salah, karakter tetap bergerak namun skor tidak berubah. Halaman Bermain dapat dilihat pada Gambar 11.



Gambar 11. Tampilan Halaman *in-Game*

3.2.3 Halaman Skor dengan Gerakan Tangan (GUI *Cursor*)

Setelah menyelesaikan sesi permainan selesai, pengguna akan diarahkan ke halaman skor. Halaman ini menampilkan skor akhir yang diperoleh pengguna selama bermain. Navigasi pada halaman ini kembali menggunakan GUI *cursor* berbasis gerakan tangan, seperti pada tahap awal. Pada halaman ini terdapat 2 pilihan tombol yaitu, Kembali ke menu utama dan Bermain lagi. Pengguna dapat menggerakkan tangan untuk mengarahkan kursor ke salah satu tombol, dan sistem akan mendeteksi gerakan untuk mengeksekusi perintah. Halaman skor dapat dilihat pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan Halaman Materi Pembelajaran

3.2.4 Kalibrasi *Kinect V2* dengan Unity

Kalibrasi *Kinect V2* merupakan tahapan penting dalam rancang bangun media pembelajaran matematika berbasis gerakan. Proses ini memastikan sensor dapat mendeteksi dan melacak gerakan pengguna dengan akurat, baik untuk navigasi menu menggunakan GUI *Cursor* (pelacakan tangan) maupun untuk kontrol permainan menggunakan pelacakan tubuh penuh (*skeleton tracking*)[17]. Dalam penelitian ini, kalibrasi *Kinect V2* dilakukan menggunakan *Kinect V2 Examples with MS SDK* yang diintegrasikan dengan *Unity*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengujian Sistem

4.1.1 Pengujian *Skeleton tracking*

Pengujian *Skeleton tracking* dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam mendeteksi dan mengenali gerakan tubuh pengguna secara akurat. Pengujian ini difokuskan pada tiga jenis gerakan dasar yang sering digunakan dalam interaksi dengan media pembelajaran berbasis *Kinect V2*, yaitu gerakan tangan dan posisi tubuh. Masing-masing gerakan diuji sebanyak 30 kali untuk melihat tingkat keberhasilan deteksinya.

1. Pengujian *Skeleton tracking* untuk Pelacakan Gerakan Tangan

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor *Kinect V2* dalam mendeteksi gerakan tangan pengguna saat berinteraksi dengan media pembelajaran. Pengujian ini dilakukan sebanyak 10 kali percobaan, melibatkan beberapa jenis gerakan tangan kanan dan kiri baik yang bersifat navigasi (memilih tombol) maupun gerakan arah (atas, bawah, kiri dan kanan).

Tabel 1. Pengujian Pelacakan Gerakan Tangan

No	Gerakan Tangan	Jenis Tangan	Jumlah Percobaan	Jumlah Berhasil Deteksi	Persentasi Akurasi
1	Tangan Kanan	Mengarahkan Tangan ke Atas, Bawah, Kanan, dan Kiri	5	5	100%
2	Tangan Kanan	Mengarahkan tangan Memilih Tombol Navigasi (Menu)	10	10	100%
3	Tangan Kiri	Mengarahkan Tangan ke Atas, Bawah, Kanan dan Kiri	5	5	100%
4	Tangan Kiri	Mengarahkan Tangan Memilih Tombol Navigasi (Menu)	10	10	100%
Total			30	30	100%

Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 1, seluruh gerakan tangan kanan dan kiri berhasil terdeteksi sesuai skenario uji dengan tingkat akurasi 100%. Capaian ini menunjukkan bahwa integrasi GUI *cursor* dengan sensor Kinect V2 cukup responsif untuk kebutuhan navigasi menu. Secara praktis, siswa dapat memilih tombol dan mengarahkan kursor tanpa perangkat tambahan, sehingga interaksi menjadi lebih natural. Namun, hasil ini tetap merepresentasikan kondisi pengujian terkontrol, sehingga performa sistem masih perlu diuji pada variasi pencahayaan, jarak pengguna, dan kepadatan ruang kelas yang berbeda.



Gambar 13. Pengujian dalam beberapa gerakan tangan

2. Pengujian *Skeleton tracking* untuk pelacakan posisi tubuh
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kemampuan sensor Kinect V2 dalam mendeteksi posisi tubuh pengguna saat berinteraksi dengan media pembelajaran. Pengujian dilakukan sebanyak 30 kali percobaan dengan tiga jenis posisi, yaitu tubuh bergeser ke kiri, ke tengah, dan ke kanan untuk memilih jawaban pada halaman bermain.

Tabel 2. Pengujian Pelacakan Posisi Tubuh

No	Posisi Tubuh	Jenis Gerakan	Jumlah Percobaan	Jumlah Berhasil Deteksi	Persentasi Akurasi
1	Bergeser Ke Kiri	Posisi Tubuh Bergeser ke kiri untuk memilih Jawaban kiri	10	10	100%
2	Bergeser Ke Tengah	Posisi Tubuh Bergeser ke tengah untuk memilih Jawaban tengah	10	10	100%
3	Bergeser Ke Kanan	Posisi Tubuh Bergeser ke kanan untuk memilih Jawaban kanan	10	10	100%
Total			30	30	100%

Berdasarkan hasil pengujian *skeleton tracking* untuk pelacakan posisi tubuh pada Tabel 2, sistem mampu mendeteksi seluruh perpindahan posisi tubuh dengan tingkat akurasi 100%. Hasil ini mengindikasikan bahwa mekanisme kontrol karakter melalui pergeseran tubuh telah sesuai dengan kebutuhan permainan edukatif. Implikasi praktisnya, siswa dapat menjawab soal melalui aktivitas fisik yang sederhana dan mudah dipahami, sehingga proses latihan operasi hitung tidak hanya berlangsung secara visual, tetapi juga melibatkan respons motorik.



Gambar 14. Pengujian dalam beberapa gerakan posisi tubuh

4.1.2 Pengujian Deteksi Jarak

Pengujian deteksi jarak dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sensor *Kinect V2* dalam mendeteksi gerakan tubuh pengguna pada berbagai jarak. Pengujian dilakukan dari jarak 0.8 meter hingga 4.5 meter, dengan setiap jarak diuji sebanyak 10 kali dengan total percobaan keseluruhan 90 kali. Hasil pengujian ditampilkan pada tabel 3 berikut :

Tabel 3. Pengujian Deteksi Jarak Kinect V2

No	Jarak Deteksi(Meter)	Jumlah Percobaan	Jumlah berhasil terdeteksi	Persentasi akurasi
1	0,8	10	10	100%
2	1,0	10	10	100%
3	1,5	10	10	100%
4	2,0	10	10	100%
5	2,5	10	10	100%
6	3,0	10	10	100%
7	3,5	10	10	100%
8	4,0	10	10	100%
9	4,5	10	10	100%
Total		90	90	100%

Berdasarkan hasil pengujian deteksi jarak pada Tabel 3, Kinect V2 mampu mendeteksi gerakan pengguna dengan akurasi 100% pada rentang 0,8 hingga 4,5 meter. Hasil ini menunjukkan bahwa media dapat digunakan pada ruang kelas atau ruang praktik dengan jarak pengguna yang relatif fleksibel. Temuan tersebut juga sejalan dengan kajian teknis Kinect V2 yang menunjukkan bahwa sensor ini memiliki kapasitas pengukuran kedalaman pada rentang operasional hingga sekitar 4,5 meter. Meskipun demikian, angka keberhasilan 100% perlu dimaknai sesuai batas skenario uji, karena faktor seperti pencahayaan ekstrem, halangan fisik, dan gerakan pengguna yang terlalu cepat dapat memengaruhi stabilitas deteksi dalam implementasi kelas yang lebih luas.



Gambar 15. Pengujian dalam deteksi jarak

4.1.3 Pengujian Fungsional (*Black-box*)

Pengujian fungsional atau *black-box* testing dilakukan untuk memastikan setiap fitur dalam media pembelajaran berbasis Kinect V2 berjalan sesuai rancangan. Fokus pengujian meliputi alur halaman, fungsi tombol berbasis gerakan tangan, proses perpindahan menuju halaman materi dan permainan, kontrol karakter melalui gerakan tubuh, serta tampilan skor akhir. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Fungsional Aplikasi dengan Metode *Black-box*

No	Fitur yang Diuji	Aksi Pengguna	Output yang Diharapkan	Hasil
1	Halaman Utama	Arahkan tangan ke “Mulai”	Masuk ke Halaman Loading	Berhasil
2	Halaman Utama	Arahkan tangan ke “Keluar”	Keluar dari aplikasi	Berhasil
3	Halaman Loading	Menunggu sistem	Animasi loading → Menu Utama	Berhasil
4	Menu Utama	Arahkan tangan ke “Materi”	Masuk ke Halaman Belajar	Berhasil
5	Menu Utama	Arahkan tangan ke “Bermain”	Masuk ke Halaman Permainan	Berhasil
6	Menu Utama	Arahkan tangan ke “Kembali”	Kembali ke Halaman Utama	Berhasil
7	Halaman Belajar	Arahkan tangan ke panah kanan	Pindah ke materi berikutnya	Berhasil
8	Halaman Belajar	Arahkan tangan ke panah kiri	Pindah ke materi berikutnya	Berhasil
9	Halaman Belajar	Arahkan tangan ke tombol keluar “X”	Kembali ke Menu Utama	Berhasil
10	Halaman Bermain	Geser ke kanan atau ke kiri	Player bergerak sesuai arah & memilih jawaban	Berhasil
11	Halaman Skor	Selesai permainan	Skor akhir tampil di layar	Berhasil

Hasil pada Tabel 4 menunjukkan bahwa seluruh fungsi utama aplikasi berhasil dijalankan sesuai output yang diharapkan. Keberhasilan ini memperkuat bahwa alur sistem telah siap digunakan pada uji coba pengguna. Akan tetapi, keberhasilan fungsional belum sepenuhnya menggambarkan kemudahan penggunaan, sehingga hasil black-box tetap perlu dibaca bersama data respons siswa, terutama pada aspek navigasi antarhalaman yang memperoleh skor lebih rendah.

4.2 Validasi Ahli

Validasi ahli merupakan langkah penting dalam proses pengembangan media pembelajaran untuk mengetahui kelayakan produk dari aspek teknis maupun konten materi. Media pembelajaran berbasis Kinect V2 perlu divalidasi agar tidak hanya berfungsi secara optimal dari sisi teknologi, tetapi juga memiliki muatan materi yang sesuai dengan tujuan pembelajaran matematika sekolah dasar. Validasi dilakukan oleh ahli media dan ahli materi menggunakan instrumen penilaian yang mencakup aspek tampilan, interaksi, kemudahan penggunaan, kesesuaian materi, dan kejelasan penyajian.

Tabel 5. Hasil Validasi Ahli

Validasi	Persentase
Ahli Media	80,71%
Ahli Materi	94,42%

Persentase validasi ahli media sebesar 80,71% menunjukkan bahwa produk berada pada kategori layak, terutama dari sisi tampilan dan fungsi interaktif. Validasi ahli materi sebesar 94,42% menunjukkan bahwa isi pembelajaran telah sangat sesuai dengan karakteristik siswa dan tujuan materi operasi hitung dasar. Perbedaan skor antara ahli media dan ahli materi mengindikasikan bahwa penguatan produk lebih diperlukan pada aspek teknis-antarmuka dibandingkan pada aspek substansi materi.

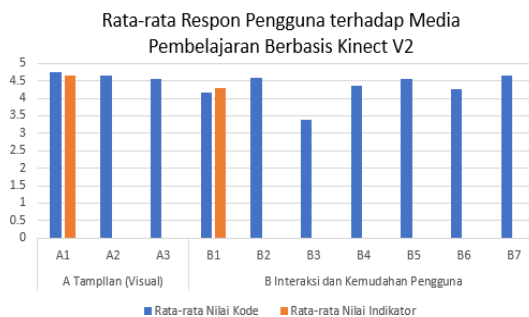
4.3 Hasil Evaluasi Respons Pengguna Menggunakan Angket Kuesioner dengan Skala *Likert*

Setelah siswa menggunakan media pembelajaran berbasis Kinect V2, data respons pengguna dikumpulkan melalui angket kuesioner. Evaluasi ini bertujuan menggambarkan tingkat penerimaan siswa terhadap media pembelajaran yang dikembangkan. Angket menggunakan skala *Likert* 1-5 dengan kriteria penilaian: sangat tidak setuju (1), tidak setuju (2), netral (3), setuju (4), dan sangat setuju (5).

Tabel 6. Hasil rata-rata respon pengguna

Indikator		Kode Rata-rata Nilai		Indikator
4.1	Tampilan (Visual)	A1	4.75	4.65
		A2	4.65	
		A3	4.55	
4.2	Interaksi dan Kemudahan Pengguna	B1	4.15	4.28571429
		B2	4.6	
		B3	3.4	
		B4	4.35	

Indikator	Kode	Rata-rata Nilai	Kode	Rata-rata Nilai	Indikator
	B5	4.55			
	B6	4.25			
	B7	4.65			



Gambar 16. Grafik Respon Pengguna

Berdasarkan Tabel 6 dan grafik pada Gambar 16 menunjukkan bahwa hasil angket kuesioner respon siswa terhadap media pembelajaran berbasis Kinect V2 memiliki rata-rata keseluruhan sebesar 4,47 dari skala 5, mengindikasikan bahwa tingkat kepuasan siswa yang tinggi. Pada indikator tampilan visual, media memperoleh rata-rata skor 4,65 dengan kesukaan tampilan permainan mendapat skor tertinggi yaitu 4,75, diikuti warna dan gambar yang menarik dengan skor 4,65, serta tulisan dan tombol yang mudah dibaca dengan skor 4,55.

Untuk indikator interaksi dan kemudahan pengguna, media memperoleh rata-rata skor 4,28 dengan variasi yang cukup beragam. Kemampuan deteksi gerakan tubuh mendapat skor tinggi 4,60 yang menunjukkan teknologi Kinect V2 bekerja dengan responsif, sementara keinginan siswa untuk menggunakan media lagi mencapai skor 4,65 dan peningkatan aktivitas belajar mendapat skor 4,55. Aspek lainnya seperti kesenangan belajar matematika (4,35), keunikan media (4,25), dan kemudahan menggerakkan tangan (4,15) juga menunjukkan respon positif.

Namun demikian, terdapat satu aspek yang memerlukan perhatian khusus, yaitu perpindahan antarhalaman yang memperoleh skor terendah sebesar 3,40. Skor ini menunjukkan bahwa sebagian siswa masih mengalami kebingungan ketika berpindah dari satu halaman ke halaman lainnya. Secara keseluruhan, hasil ini memperlihatkan bahwa media pembelajaran mampu menciptakan pengalaman belajar yang menarik dan memotivasi siswa, tetapi sistem navigasi masih perlu disederhanakan dan diperjelas melalui instruksi visual, ikon yang konsisten, serta umpan balik ketika pilihan menu berhasil terdeteksi.



Gambar 17. Implementasi Media Pembelajaran di sekolah

4.4 Pembahasan

Temuan penelitian ini menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis Kinect V2 dapat mengubah pola interaksi siswa dari sekadar melihat dan menjawab soal menjadi melakukan gerakan tubuh untuk memahami dan memilih jawaban. Hasil tersebut mendukung pandangan *embodied cognition* yang menempatkan gerakan, persepsi, dan interaksi fisik sebagai bagian penting dalam proses kognitif anak. Dalam pembelajaran matematika, gestur dapat membantu siswa mengelola perhatian, memvisualisasikan hubungan antar konsep, dan mengurangi beban memori kerja ketika menyelesaikan tugas berhitung. Oleh karena itu, penggunaan Kinect V2 dalam penelitian ini memiliki dasar ilmiah yang relevan, terutama untuk siswa sekolah dasar yang masih membutuhkan dukungan konkret dan kinestetik.

Keunggulan utama media ini terletak pada keberhasilan sistem mendeteksi gerakan tangan, posisi tubuh, dan jarak pengguna sesuai skenario uji. Kondisi ini membuat media dapat digunakan sebagai alternatif

pembelajaran yang partisipatif karena siswa tidak hanya berinteraksi dengan layar, tetapi juga melakukan aktivitas fisik. Jika dibandingkan dengan media pembelajaran berbasis layar konvensional, penggunaan sensor gerak memberikan pengalaman yang lebih imersif karena tindakan tubuh siswa menjadi bagian langsung dari mekanisme permainan. Akan tetapi, keunggulan teknis tersebut belum otomatis menjamin seluruh aspek pengalaman pengguna berjalan optimal.

Skor navigasi antarhalaman sebesar 3,40 menjadi temuan penting karena menunjukkan adanya kesenjangan antara keberhasilan fungsi sistem dan kemudahan penggunaan oleh siswa. Kemungkinan penyebabnya adalah mekanisme pemilihan menu berbasis GUI *cursor* yang membutuhkan waktu tunggu, perbedaan pola kontrol antara navigasi tangan dan kontrol tubuh, serta belum optimalnya petunjuk visual pada setiap perpindahan halaman. Bagi anak sekolah dasar, perubahan mode interaksi yang terlalu cepat dapat menimbulkan kebingungan. Karena itu, pengembangan berikutnya perlu memprioritaskan desain navigasi yang lebih konsisten, tutorial singkat sebelum permainan, indikator konfirmasi ketika tombol terpilih, serta umpan balik suara atau visual agar siswa memahami tindakan yang sedang diproses oleh sistem.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, media pembelajaran matematika berbasis Kinect V2 yang dikembangkan terbukti memiliki interaktivitas tinggi melalui integrasi kontrol gerakan tubuh dan tangan, sehingga mampu mendukung pengalaman belajar yang lebih aktif dan menarik bagi siswa sekolah dasar. Hasil pengujian teknis menunjukkan bahwa sistem *skeleton tracking* dan deteksi jarak mencapai akurasi 100% pada skenario pengujian, sedangkan seluruh fitur media yang diuji menggunakan metode *black-box* berfungsi sesuai spesifikasi dengan tingkat keberhasilan 100%. Validasi ahli media memperoleh persentase 80,71% dan validasi ahli materi mencapai 94,42%, yang menunjukkan bahwa media layak digunakan dari sisi teknis maupun substansi pembelajaran. Respons siswa juga sangat positif dengan nilai rata-rata keseluruhan 4,47 dari skala 5. Indikator tampilan visual memperoleh skor 4,65, sedangkan indikator interaksi dan kemudahan penggunaan memperoleh skor 4,28. Keterbatasan utama ditemukan pada aspek perpindahan antarhalaman dengan skor 3,40, sehingga sistem navigasi perlu disempurnakan. Penelitian lanjutan disarankan untuk menyederhanakan alur navigasi, menambahkan tutorial penggunaan, menyediakan umpan balik visual dan suara pada setiap pilihan menu, serta menguji efektivitas media melalui desain pre-test dan post-test dengan sampel yang lebih besar atau kelompok pembandingan. Secara keseluruhan, media pembelajaran berbasis Kinect V2 layak digunakan sebagai alternatif media pembelajaran matematika interaktif di sekolah dasar dengan tetap memperhatikan peningkatan aspek usability.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. akmal, m. ulfa, w. aprilia, f. sandikaduana, and m. subhan, "peran teknologi pendidikan dalam pembelajaran," *j. teknol. pendidik. dan pembelajaran* | e-issn 3026-6629, vol. 3, no. 1, pp. 35–40, 2025.
- [2] s. najjar and h. oktasari, "embracing mobile learning in education: membuka keuntungan, menghadapi tantangan, dan menjelajahi prospek masa depan," in *prosiding seminar nasional kemahasiswaan*, 2023, pp. 74–83.
- [3] b. p. awiyadi, a. c. pattipeilohy, m. p. st, and h. weni, *smart teacher: strategi mengajar matematika di era visual*. detak pustaka, 2026.
- [4] s. ayu, sekar dewi ardianti, and s. wanabuliandari, "analisis faktor penyebab kesulitan belajar matematika," *aksioma j. progr. stud. pendidik. mat.*, vol. 10, no. 3, pp. 1611–1622, 2021.
- [5] r. gordon and g. b. ramani, "integrating embodied cognition and information processing: a combined model of the role of gesture in children ' s mathematical environments," vol. 12, no. april, pp. 1–17, 2021, doi: 10.3389/fpsyg.2021.650286.
- [6] a. seccia and s. goldin-meadow, "gestures can help children learn mathematics: how researchers can work with teachers to make gesture studies applicable to classrooms.," *philos. trans. r. soc. london. ser. b, biol. sci.*, vol. 379, no. 1911, p. 20230156, oct. 2024, doi: 10.1098/rstb.2023.0156.
- [7] a. pradana, s. nugraha, and s. rater, "visual media development of wayang culture based on 2d object motion using kinect sensor," *j. inotera*, vol. 7, no. 2, pp. 74–82, 2022.
- [8] c. a. hutagalung *et al.*, *interaksi manusia dan komputer*. serasi media teknologi, 2025.
- [9] y. yuricha, b. s. salim, s. a. laga, a. suroni, and r. permatasari, *buku ajar interaksi manusia dan komputer*. pt. sonpedia publishing indonesia, 2024.
- [10] h. jusef and l. s. istiyowati, *penelitian r&d dalam bidang teknologi pendidikan*. indonesia emas group, 2023.
- [11] e. s. utaminingsih, b. y. intania, h. aida, m. s. salama, and i. m. sukma, "designing an innovative educational framework for 'how we live and grow' using the 4d model," *j. educ. dev.*, vol. 12, no. 1, pp.

- 42–52, 2024.
- [12] b. sihombing, “model pengembangan 4d (define, design, develop, dan disseminate) dalam pembelajaran pendidikan islam,” *j. islam. educ. el madani*, vol. 4, no. 1, pp. 11–19, 2024.
- [13] d. octaria and a. isroqmi, “pengembangan media pembelajaran berbasis web google sites pada materi turunan fungsi,” *j. deriv. j. mat. dan pendidik. mat.*, vol. 9, no. 2, pp. 123–135, 2022.
- [14] l. judijanto *et al.*, *metodologi research and development: teori dan penerapan metodologi rnd*. pt. sonpedia publishing indonesia, 2024.
- [15] f. n. hakiki, d. s. pambudi, and d. kurniati, “pengembangan perangkat pembelajaran matematika model project based learning terintegrasi stem untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis,” *aksioma j. progr. stud. pendidik. mat.*, vol. 11, no. 4, pp. 2579–2592, 2022.
- [16] f. habuke, e. hulukati, and k. a. y. pauweni, “meningkatkan kemampuan pemecahan masalah matematika siswa melalui media pembelajaran interaktif articulate storyline pada materi peluang,” *euler j. ilm. mat. sains dan teknol.*, vol. 10, no. 1, pp. 103–110, 2022.
- [17] r. f. a. ginting and f. e. messe, “pengembangan game edukasi puzzle berbasis computer vision hand tracking untuk anak usia dini: development of an educational puzzle game using computer vision-based hand tracking for early childhood,” *hoaq (high educ. organ. arch. qual. j. teknol. inf.)*, vol. 16, no. 1, pp. 16–22, 2025.