YASIN
Jurnal Pendidikan dan Sosial Budaya

p-ISSN: 2808-2346
e-ISSN: 2808-1854

Terindeks: SINTA 5, Copernicus, Dimensions, Scilit, Lens, Crossref, Semantic, Garuda, Google, Base, etc.

https://doi.org/10.58578/yasin.v6i5.11595

RANCANG BANGUN MUSIK TRADISIONAL MINANGKABAU BERBASIS *IMMERSIVE TECHNOLOGY*

Design and Development of Minangkabau Traditional Music Based on Immersive Technology

Jelita Kristin Sagala & Fris Okta Falma
Universitas Negeri Padang
kristinsagalaaa@gmail.com; frisoktafalma@ft.unp.ac.id

Article Info:

Submitted:	Revised:	Accepted:	Published:
Jun 17, 2026	Jul 15, 2026	Jul 27, 2026	Aug 1, 2026

Abstract

Although the use of immersive technology to introduce cultural heritage continues to develop, media integrating the forms, sounds, and simulated performance of traditional Minangkabau musical instruments remain limited. This study aimed to design and develop an immersive technology-based Minangkabau traditional music application as an interactive medium for cultural introduction. The study employed a research and development approach using the Multimedia Development Life Cycle model, which comprises the concept, design, material collecting, assembly, testing, and distribution stages. The data sources included traditional musical instruments, scientific documents, and one purposively selected Minangkabau music practitioner. Data were collected through observation, semi-structured interviews, a literature review, documentation, and functional testing, and were subsequently analyzed descriptively using SWOT analysis. The result of the study was a Windows-based virtual reality application featuring three-dimensional models of *talempong*, *canang*, and *gandang katindiak*, along with recordings of the original instrument sounds. The implementation of a collider system, virtual reality controllers, a touch-detection script, and Audio Source enabled users to play the instruments using both hands, including producing the distinct "dum" and "tak" sounds of the *gandang katindiak*. Internal testing indicated that the navigation

Yasin Journal is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 4.0 International License

functions, object responses, and audio output operated according to the design. These findings extend the use of immersive technology as an interactive medium for introducing and preserving traditional Minangkabau music. However, the application's effectiveness in improving users' understanding of and interest in Minangkabau culture still requires testing with broader user groups.

Keywords: Traditional Musical Instruments; Minangkabau Traditional Music; Cultural Preservation; Virtual Reality; Immersive Technology

Abstrak: Meskipun pemanfaatan teknologi imersif untuk memperkenalkan warisan budaya terus berkembang, media yang mengintegrasikan bentuk, bunyi, dan simulasi permainan alat musik tradisional Minangkabau masih terbatas. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun aplikasi musik tradisional Minangkabau berbasis teknologi imersif sebagai media pengenalan budaya yang interaktif. Penelitian menggunakan pendekatan *research and development* dengan model *Multimedia Development Life Cycle* yang mencakup tahap *concept*, *design*, *material collecting*, *assembly*, *testing*, dan *distribution*. Sumber data meliputi instrumen musik tradisional, dokumen ilmiah, dan seorang praktisi musik Minangkabau yang dipilih secara *purposive*. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara semi-terstruktur, studi literatur, dokumentasi, dan pengujian fungsional, kemudian dianalisis secara deskriptif dan menggunakan analisis SWOT. Hasil penelitian berupa aplikasi *virtual reality* berbasis Windows yang memuat model tiga dimensi talempong, canang, dan gandang katindiak beserta rekaman bunyi instrumen asli. Penerapan sistem *collider*, pengendali *virtual reality*, *script* deteksi sentuhan, dan *Audio Source* memungkinkan pengguna memainkan instrumen menggunakan kedua tangan, termasuk menghasilkan perbedaan bunyi "dum" dan "tak" pada gandang katindiak. Pengujian internal menunjukkan bahwa fungsi navigasi, respons objek, dan keluaran audio berjalan sesuai dengan rancangan. Temuan ini memperluas pemanfaatan teknologi imersif sebagai media interaktif untuk memperkenalkan dan melestarikan musik tradisional Minangkabau. Namun, efektivitas aplikasi dalam meningkatkan pemahaman dan ketertarikan pengguna terhadap budaya Minangkabau masih memerlukan pengujian terhadap kelompok pengguna yang lebih luas.

Kata Kunci: Alat Musik Tradisional; Musik Tradisional Minangkabau; Pelestarian Budaya; Realitas Virtual; Teknologi Imersif

PENDAHULUAN

Musik merupakan bentuk ekspresi budaya yang memadukan unsur bunyi, ritme, melodi, dan harmoni untuk menyampaikan pengalaman, emosi, serta nilai-nilai yang hidup di tengah masyarakat. Keberadaan musik tidak hanya berkaitan dengan kebutuhan hiburan, tetapi juga berperan sebagai sarana komunikasi, pembentukan identitas, pendidikan, dan pewarisan kebudayaan antargenerasi. Pembelajaran musik pada konteks pendidikan juga diarahkan agar peserta didik mampu mengalami, merefleksikan, menciptakan, serta memahami karya musik berdasarkan konteks lokal dan global. Orientasi tersebut menunjukkan bahwa musik tradisional perlu ditempatkan sebagai sumber belajar yang

relevan dengan perkembangan peserta didik dan perubahan lingkungan sosialnya (Riyadi & Budiman, 2023).

Musik tradisional Minangkabau menjadi salah satu kekayaan budaya yang merepresentasikan hubungan erat antara seni, adat, dan kehidupan sosial masyarakat Sumatera Barat. Instrumen seperti talempong, gandang, canang, dan saluang tidak hanya menghasilkan pola musikal yang khas, tetapi juga digunakan pada berbagai upacara adat, pertunjukan, perayaan, dan kegiatan sosial. Talempong, misalnya, memiliki karakter organologis, pola ritmis, serta sistem tonalitas yang membentuk identitas musikal Minangkabau (Nursyirwan et al., 2025; Syeilendra & Parmadi, 2022). Fungsi talempong juga mencakup media pengungkapan emosi, hiburan, pengiring pertunjukan, pengesahan kegiatan sosial, pengintegrasian masyarakat, dan pelestarian budaya (Aisyah & Idawati, 2025). Nilai edukatif yang terdapat pada alat musik tradisional Sumatera Barat turut menjadikannya sebagai media pendidikan nonformal untuk mengenalkan pengetahuan, keterampilan, dan nilai budaya kepada generasi berikutnya (Falma et al., 2021).

Keberlanjutan musik tradisional Minangkabau menghadapi tantangan ketika perubahan pola konsumsi media, perkembangan budaya populer, dan keterbatasan akses terhadap instrumen tradisional memengaruhi ketertarikan generasi muda. Pembelajaran musik tradisional masih bergantung pada ketersediaan alat musik fisik, ruang praktik, serta pendidik yang memiliki kompetensi musikal dan pengetahuan budaya yang memadai. Kondisi tersebut menyebabkan pengalaman belajar tidak selalu dapat diberikan secara merata kepada peserta didik. Penelitian mengenai pembelajaran talempong pacik di SMP Negeri 30 Padang memperlihatkan bahwa guru menghadapi tantangan dalam menyesuaikan materi, strategi, dan fasilitas pembelajaran dengan kebutuhan peserta didik, khususnya pada kelas yang memiliki karakteristik belajar beragam (Hazfira & Ferdian, 2025). Situasi ini menunjukkan bahwa pelestarian musik tradisional tidak cukup dilakukan melalui dokumentasi, tetapi membutuhkan media pembelajaran yang mampu menghadirkan pengalaman musikal secara lebih mudah, menarik, dan kontekstual.

Teknologi imersif menawarkan pendekatan yang dapat digunakan untuk memperluas akses terhadap pengalaman budaya tanpa sepenuhnya bergantung pada kehadiran objek fisik. Virtual reality memungkinkan pengguna memasuki lingkungan digital tiga dimensi, mengamati objek dari berbagai sudut, mendengarkan audio, dan berinteraksi dengan elemen virtual yang dirancang menyerupai kondisi nyata. Karakter tersebut menjadikan virtual reality

berpotensi digunakan untuk memvisualisasikan instrumen musik tradisional sekaligus memperkenalkan bentuk, bunyi, fungsi, dan konteks budayanya. Pemanfaatan virtual reality sebagai media pembelajaran dapat menciptakan pengalaman yang lebih aktif karena pengguna tidak hanya menerima informasi, tetapi juga melakukan eksplorasi dan interaksi secara langsung (Azmi et al., 2024). Tingkat imersi dan interaksi yang dirancang dengan baik juga dapat membentuk *presence*, yaitu perasaan seolah-olah pengguna benar-benar berada di lingkungan virtual yang sedang dialaminya (Austermann et al., 2025). Tinjauan sistematis oleh Conrad et al., (2024) menunjukkan bahwa virtual reality memiliki potensi yang kuat untuk mendukung pemerolehan pengetahuan, terutama pada pembelajaran yang berorientasi pada tindakan dan keterampilan prosedural.

Sejumlah penelitian telah mengembangkan virtual reality sebagai media pembelajaran pada berbagai bidang. Atmojo et al. (2022) mengembangkan pembelajaran seni budaya berbasis kearifan lokal Sumatera Utara dengan memanfaatkan virtual reality untuk menghadirkan materi seni secara lebih menarik dan kontekstual. Musril et al. (2020) menggunakan model pengembangan 4D untuk menghasilkan media virtual reality pada materi perakitan komputer, sedangkan Darojat et al. (2022) mengembangkan media serupa untuk memvisualisasikan sistem tata surya yang sulit diamati secara langsung. Aspek perancangan juga diteliti oleh Handayani & Hasanah (2025) melalui pengembangan *storyboard* virtual reality untuk materi perangkat keras komputer yang memperoleh tingkat kelayakan tinggi dari ahli media dan ahli materi. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa virtual reality dapat dikembangkan sebagai media pembelajaran yang layak, tetapi sebagian besar produk masih berfokus pada materi sains, teknologi, dan visualisasi objek, bukan pada pengalaman musikal yang membutuhkan integrasi antara bentuk instrumen, audio, pola permainan, dan konteks budaya.

Kajian mengenai teknologi imersif untuk pelestarian budaya juga terus berkembang. Sovia et al. (2019) telah memanfaatkan virtual reality berbasis Android untuk memperkenalkan kampung tradisional Minangkabau kepada masyarakat dan generasi muda. Penelitian tersebut membuktikan bahwa teknologi virtual dapat digunakan untuk mengomunikasikan warisan budaya Minangkabau, meskipun objek yang disajikan masih berorientasi pada lingkungan dan arsitektur tradisional. Zhao et al. (2025) menjelaskan bahwa virtual reality pada pendidikan warisan budaya dapat memperkuat keterlibatan pengguna melalui rekonstruksi tiga dimensi, narasi, eksplorasi virtual, dan interaksi dengan objek budaya. Wang et al. (2024) juga menemukan bahwa pameran budaya virtual yang dipadukan

dengan unsur permainan berpotensi meningkatkan keterlibatan dan pemahaman pengguna terhadap nilai sejarah suatu artefak. Kajian yang lebih khusus mengenai warisan musik dilakukan oleh Zou et al. (2024) melalui pendekatan *digital twin* untuk merepresentasikan warisan musikal di museum virtual. Hasil-hasil tersebut menegaskan bahwa teknologi imersif dapat mendukung dokumentasi dan diseminasi budaya, termasuk warisan budaya takbenda.

Perbandingan terhadap penelitian sebelumnya memperlihatkan adanya kesenjangan antara kajian musik tradisional Minangkabau dan pengembangan media berbasis teknologi imersif. Penelitian tentang talempong lebih banyak membahas fungsi sosial, bentuk organologis, tonalitas, pola permainan, dan kedudukannya pada kehidupan masyarakat, sedangkan penelitian virtual reality bertema Minangkabau cenderung menampilkan rumah adat, lingkungan perkampungan, dan informasi budaya secara visual. Media yang secara khusus mengintegrasikan representasi tiga dimensi instrumen, karakter bunyi, informasi budaya, serta simulasi interaksi memainkan musik tradisional Minangkabau masih terbatas. Kesenjangan tersebut juga berkaitan dengan desain multimedia. Penggabungan teks, narasi, visual, animasi, dan audio tidak dapat dilakukan secara berlebihan, melainkan perlu disusun berdasarkan kebutuhan pengguna agar informasi dapat diproses secara terarah. Prinsip tersebut sejalan dengan *Cognitive Theory of Multimedia Learning* yang menekankan pengelolaan unsur verbal dan visual untuk mengurangi beban kognitif serta membantu pengguna membangun pemahaman yang bermakna (Cavanagh & Kiersch, 2023).

Kebaruan penelitian ini terletak pada perancangan media imersif yang tidak hanya menyajikan informasi mengenai musik tradisional Minangkabau, tetapi juga memberikan ruang bagi pengguna untuk mengenali bentuk instrumen, mendengarkan karakter bunyi, memahami fungsi budaya, dan melakukan simulasi interaksi musikal pada lingkungan virtual. Produk yang dikembangkan menempatkan teknologi sebagai perantara untuk mendekatkan pengguna dengan pengalaman budaya, bukan sebagai pengganti praktik musik tradisional yang berlangsung di masyarakat. Pengembangan media bertumpu pada konsep *presence* untuk membangun kesan kehadiran pengguna di lingkungan virtual, prinsip pembelajaran multimedia untuk menata informasi visual dan audio, serta pendekatan pendidikan warisan budaya untuk menjaga ketepatan representasi dan keterhubungan materi dengan konteks sosialnya(Austermann et al., 2025). Integrasi ketiga landasan tersebut diharapkan menghasilkan pengalaman yang imersif, informatif, mudah digunakan, dan tetap menghormati nilai-nilai budaya Minangkabau.

Penelitian ini berfokus pada proses perancangan dan pembangunan media musik tradisional Minangkabau berbasis *immersive technology* yang mengintegrasikan objek tiga dimensi, audio, informasi budaya, dan interaksi pengguna pada suatu lingkungan virtual. Pengembangan tersebut diarahkan untuk menyediakan alternatif media pengenalan dan pembelajaran musik tradisional yang dapat digunakan secara lebih fleksibel oleh generasi muda. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun media musik tradisional Minangkabau berbasis *immersive technology*, menghasilkan pengalaman interaktif yang memperkenalkan bentuk, bunyi, cara penggunaan, serta fungsi budaya instrumen tradisional, dan menguji kelayakan media sebagai sarana pengenalan sekaligus pelestarian musik tradisional Minangkabau.

METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan penelitian dan pengembangan atau *research and development* yang berorientasi pada pembuatan media musik tradisional Minangkabau berbasis *immersive technology*. Pengembangan produk dilaksanakan di Garuda Kreasi Persada pada Januari sampai 5 Juli 2026. Desain pengembangan menggunakan model *Multimedia Development Life Cycle* (MDLC) yang terdiri atas enam tahap, yaitu *concept*, *design*, *material collecting*, *assembly*, *testing*, dan *distribution*. Tahap konsep mencakup penetapan tujuan, sasaran pengguna, jenis multimedia, serta spesifikasi umum aplikasi. Tahap perancangan meliputi penyusunan alur navigasi, antarmuka, lingkungan virtual, dan bentuk interaksi pengguna dengan instrumen talempong, canang, dan gandang katindiak. Tahap pengumpulan bahan dilakukan dengan menyiapkan model tiga dimensi, foto instrumen, rekaman audio berformat WAV dan MP3, video edukasi berformat MP4, serta informasi mengenai bentuk, fungsi, karakter suara, dan teknik memainkan alat musik. Seluruh aset kemudian diintegrasikan pada tahap pembuatan menjadi aplikasi *virtual reality* yang memungkinkan pengguna melihat, mendengarkan, dan memainkan instrumen secara virtual.

Sumber data penelitian mencakup objek musik tradisional Minangkabau, dokumen ilmiah, serta informan yang memiliki pengetahuan mengenai instrumen tradisional. Informan utama adalah Fris Okta Falma, seorang praktisi yang memahami karakter suara dan teknik memainkan alat musik Minangkabau. Informan dipilih menggunakan teknik *purposive sampling* karena kompetensinya sesuai dengan kebutuhan pengembangan produk. Data dikumpulkan melalui observasi, wawancara, studi literatur, dan dokumentasi. Observasi dilakukan di Museum Bustanil Arifin Pusat Dokumentasi dan Informasi Kebudayaan Minangkabau untuk

mengidentifikasi bentuk, karakteristik, serta konteks penggunaan instrumen. Wawancara semi-terstruktur dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai karakter suara, teknik permainan, dan materi budaya yang perlu disajikan dalam aplikasi. Studi literatur digunakan untuk mengkaji konsep *virtual reality*, media interaktif, dan musik tradisional Minangkabau, sedangkan dokumentasi berupa foto, audio, dan video dilakukan di FOF Studio sebagai bahan pembuatan model tiga dimensi dan sampel suara. Instrumen pengumpulan data meliputi pedoman observasi, pedoman wawancara, perangkat perekam audio dan video, kamera, catatan dokumentasi, serta formulir tanggapan pengguna.

Pengujian dilakukan secara fungsional untuk memastikan bahwa navigasi, tampilan antarmuka, model tiga dimensi, keluaran audio, dan respons interaksi dapat berjalan sesuai rancangan. Aspek yang diperiksa mencakup ketepatan fungsi, responsivitas antarmuka, sinkronisasi suara, kenyamanan pengalaman imersif, serta kesesuaian informasi budaya yang disajikan. Produk yang telah diuji kemudian diperkenalkan melalui kegiatan pameran dan digunakan oleh pengunjung sebagai pengguna uji coba. Tanggapan pengguna dikumpulkan melalui formulir kepuasan sebagai bahan evaluasi dan penyempurnaan produk. Data hasil observasi, wawancara, dokumentasi, pengujian, dan tanggapan pengguna dianalisis secara deskriptif. Analisis SWOT juga digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan, kelemahan, peluang, dan ancaman produk, sehingga hasil analisis dapat menjadi dasar dalam mengoptimalkan kualitas teknis, nilai edukatif, kemudahan penggunaan, dan potensi pemanfaatan aplikasi sebagai media pelestarian musik tradisional Minangkabau.

HASIL

Pengembangan menghasilkan aplikasi *virtual reality* berjudul "Eksplorasi Musik Tradisional Minangkabau" yang dapat dijalankan secara mandiri pada perangkat berbasis Windows. Aplikasi memuat tiga instrumen tradisional Minangkabau, yaitu talempong, canang, dan gandang katindiak. Setiap instrumen disajikan dalam bentuk model tiga dimensi dan dilengkapi dengan suara hasil perekaman instrumen asli. Pengguna dapat memasuki ruang virtual, melihat bentuk instrumen, mengambil alat pemukul, serta memainkan instrumen melalui perangkat pengendali *virtual reality*. Hasil pengembangan juga mencakup ruang virtual bernuansa Minangkabau, menu petunjuk penggunaan, papan informasi, sistem navigasi, dan interaksi audio yang merespons tindakan pengguna.

Proses pengembangan dilaksanakan berdasarkan enam tahapan *Multimedia Development Life Cycle*, yaitu *concept*, *design*, *material collecting*, *assembly*, *testing*, dan *distribution*. Tahap konsep menghasilkan rancangan ruang virtual yang mengadaptasi suasana interior tradisional Minangkabau. Unsur visual yang diterapkan meliputi dinding bernuansa kayu, motif ukiran Minangkabau, furnitur kayu, pencahayaan berwarna kuning keemasan, dan material dasar berwarna cokelat gelap dengan kode warna #342922. Pencahayaan menggunakan komponen *spot light* yang diarahkan pada area penempatan instrumen. Hasil setiap tahapan pengembangan dirangkum pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil tahapan pengembangan aplikasi berdasarkan MDLC

Tahap	Kegiatan yang Dilaksanakan	Hasil yang Diperoleh
Concept	Menentukan tujuan, sasaran pengguna, bentuk media, gaya visual, dan jenis instrumen.	Konsep aplikasi VR untuk mengenalkan talempong, canang, dan gandang katindiak.
Design	Menyusun alur navigasi, tampilan antarmuka, tata ruang, dan rancangan interaksi.	Alur aplikasi yang terdiri atas menu petunjuk, ruang utama VR, interaksi instrumen, dan keluar aplikasi.
Material Collecting	Mengumpulkan foto, rekaman audio, video, tekstur, dan referensi instrumen.	Aset visual dan audio instrumen tradisional dalam format WAV, MP3, MP4, serta gambar referensi.
Assembly	Membuat model 3D, tekstur, baking, pemrograman, dan integrasi aset.	Ruang virtual beserta tiga instrumen yang dapat dimainkan secara interaktif.
Testing	Menguji collider, audio, script, navigasi, dan respons objek.	Seluruh fungsi utama dapat dijalankan tanpa ditemukan kegagalan sistem pada pengujian internal.
Distribution	Melakukan proses build dan menyiapkan produk untuk pameran.	File aplikasi berformat EXE beserta folder pendukung untuk perangkat Windows.

Berdasarkan Tabel 1, seluruh tahapan MDLC telah menghasilkan keluaran yang saling berkaitan. Tahap *concept* dan *design* menghasilkan rancangan aplikasi, tahap *material collecting* menyediakan bahan visual dan audio, tahap *assembly* menghasilkan ruang virtual dan instrumen interaktif, tahap *testing* memastikan fungsi utama dapat dijalankan, sedangkan tahap *distribution* menghasilkan aplikasi berformat EXE yang dapat digunakan pada perangkat Windows. Tahap pengumpulan bahan menghasilkan rekaman suara talempong, canang, dan gandang katindiak dalam format WAV dan MP3. Foto instrumen asli digunakan sebagai acuan bentuk, ukuran, warna, material, dan detail bagian instrumen. Aset tersebut kemudian diolah menggunakan Blender untuk pemodelan tiga dimensi, Ibis Paint untuk pengolahan visual tertentu, Visual Studio Code untuk penulisan kode program, serta Unity untuk integrasi sistem dan pengembangan lingkungan *virtual reality*. Model yang telah selesai melalui proses *texturing* dan *baking* diekspor dari Blender dalam format FBX, kemudian diimpor ke

Unity bersama tekstur *base color* dan *roughness*. Proses pemodelan menghasilkan aset berupa talempong, canang, gandang katindiak, rak instrumen, dan ruang virtual. Rincian proses pengembangan dan karakteristik hasil setiap model tiga dimensi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil pengembangan model tiga dimensi instrumen

Aset	Proses Pengembangan	Karakteristik Hasil
Talempong	Pemodelan mesh dasar, penerapan subdivision surface dan bevel, pemberian material, pengaturan unsur metallic, serta proses baking.	Model berwarna keemasan dengan bentuk ujung atau bevel yang cenderung cekung.
Canang	Pemodelan mesh dasar, penerapan subdivision surface dan bevel, pemberian material berwarna keemasan, serta proses baking.	Model memiliki ukuran dan bentuk yang berbeda dari talempong serta bevel yang cenderung cembung.
Gandang katindiak	Pembuatan badan menggunakan objek circle, proses ekstrusi, pembuatan membran, pembuatan tali menggunakan Bezier curve, pemberian material, serta proses baking.	Model memiliki dua bidang pukul, badan berbahan kayu, tali pengikat, dan ring pada kedua sisinya.
Rak instrumen	Pemodelan kerangka menggunakan objek cube, torus, dan cylinder, dilanjutkan dengan UV unwrapping, pemberian material kayu, serta proses baking.	Rak dapat menampung susunan talempong dan canang secara berjajar.
Ruang virtual	Penyusunan lantai, empat dinding, langit-langit, meja, karpet, lampu, serta pemberian tekstur ruang.	Ruang virtual bernuansa tradisional dengan pencahayaan yang diarahkan pada instrumen.

Berdasarkan Tabel 2, setiap aset dikembangkan melalui teknik pemodelan yang disesuaikan dengan karakteristik bentuk aslinya. Talempong dan canang dibedakan melalui ukuran dan bentuk *bevel*, sedangkan gandang katindiak menampilkan badan berbahan kayu, dua membran, tali pengikat, dan *ring* pada kedua sisinya. Rak instrumen dan ruang virtual dikembangkan sebagai elemen pendukung untuk menciptakan susunan instrumen yang teratur dan suasana tradisional Minangkabau.

Hasil perancangan antarmuka diwujudkan dalam menu awal yang memuat judul aplikasi dan petunjuk penggunaan perangkat VR. Petunjuk tersebut menjelaskan penggunaan *joystick* untuk mengubah arah pandang serta tombol pada *controller* untuk mengambil alat pemukul. Setelah melewati menu petunjuk, pengguna diarahkan menuju ruang virtual yang memuat ketiga instrumen, rak penyimpanan, meja, karpet, dan papan informasi. Susunan tampilan menu utama dapat disajikan pada Gambar 1, sedangkan kondisi keseluruhan ruang virtual dapat disajikan pada Gambar 2.



Gambar 1. Tampilan menu utama dan petunjuk penggunaan aplikasi

Berdasarkan Gambar 1, menu utama telah memuat identitas aplikasi dan petunjuk dasar pengoperasian perangkat VR. Informasi penggunaan *joystick* dan tombol pada *controller* membantu pengguna memahami cara mengubah arah pandang, mengambil alat pemukul, serta memulai interaksi di dalam ruang virtual. Setelah melewati menu petunjuk, pengguna diarahkan menuju ruang virtual yang memuat tiga instrumen tradisional, rak penyimpanan, meja, karpet, pencahayaan, dan papan informasi. Tampilan keseluruhan ruang virtual musik tradisional Minangkabau disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Tampilan keseluruhan ruang virtual musik tradisional Minangkabau

Sistem interaksi pada talempong dan canang menggunakan komponen *Box Collider*, *Audio Source*, dan script PlayAudioOnTriggerEnter. Suara diputar ketika sistem mendeteksi benturan antara alat pemukul dengan permukaan instrumen. Objek pemukul dilengkapi dengan *Rigidbody*, *Collider*, XRGrabInteractable, dan VelocityEstimator agar dapat diambil, digerakkan, serta digunakan untuk memukul instrumen. Setiap alat pemukul juga memiliki titik *attach* sebagai posisi pegangan, komponen visual, dan area *collider*. Pengaturan ini menghasilkan fungsi pengambilan dua alat pemukul secara bersamaan menggunakan tangan kanan dan kiri pengguna.

Sistem gandang katindiak menggunakan tiga *collider* yang ditempatkan pada membran kanan, membran kiri, dan badan utama. Masing-masing membran dihubungkan dengan *Audio Source* dan script PlaySoundOnTouch. Membran kanan memutar audio "dum",

sedangkan membran kiri memutar audio "tak". Objek tangan pengguna dilengkapi *Rigidbody*, *Collider*, serta tag hand agar sentuhan pada setiap sisi gandang dapat dikenali. Hasil penerapan fungsi interaksi pada ketiga instrumen disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil implementasi komponen interaktif

Instrumen/Objek	Bentuk Interaksi	Komponen Utama	Keluaran Sistem
Talempong	Dipukul menggunakan alat pemukul virtual.	Box Collider, Audio Source, dan PlayAudioOnTriggerEnter.	Suara talempong diputar ketika permukaan instrumen terkena alat pemukul.
Canang	Dipukul menggunakan alat pemukul virtual.	Box Collider, Audio Source, dan PlayAudioOnTriggerEnter.	Suara canang diputar ketika terjadi benturan dengan alat pemukul.
Gandang katindiak sisi kanan	Dipukul atau disentuh menggunakan tangan virtual.	Collider, Audio Source, dan PlaySoundOnTouch.	Sistem memutar bunyi "dum".
Gandang katindiak sisi kiri	Dipukul atau disentuh menggunakan tangan virtual.	Collider, Audio Source, dan PlaySoundOnTouch.	Sistem memutar bunyi "tak".
Alat pemukul	Diambil dan digerakkan menggunakan kedua tangan.	Rigidbody, Collider, XR Grab Interactable, dan Velocity Estimator.	Dua alat pemukul dapat dipegang dan digunakan secara bersamaan.
Tangan pengguna	Menyentuh membran gandang.	Rigidbody, Collider, Direct Interactor, dan tag hand.	Sistem mengenali sisi instrumen yang disentuh oleh pengguna.

Hasil implementasi visual memperlihatkan bahwa talempong dan canang memiliki warna keemasan dengan karakter permukaan logam. Perbedaan keduanya ditampilkan melalui ukuran dan bentuk *bevel*. Talempong dirancang dengan bagian ujung yang cenderung cekung, sedangkan canang memiliki bentuk yang lebih cembung. Gandang katindiak ditampilkan dengan tekstur kayu, dua membran, tali pengikat, dan ring pada kedua sisi. Tangkapan layar interaksi pengguna dengan ketiga instrumen dapat disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Interaksi pengguna dengan instrumen musik tradisional di dalam ruang virtual

Proses finalisasi menghasilkan aplikasi berformat EXE yang dapat dijalankan tanpa membuka Unity Editor. Platform target ditetapkan sebagai Windows melalui menu *Build Settings* pada Unity. Seluruh scene dimasukkan ke dalam bagian *Scenes in Build* dan disusun berdasarkan urutan tampilan aplikasi. Scene menu ditempatkan pada urutan pertama, kemudian diikuti oleh scene ruang virtual. Unity mengompilasi model tiga dimensi, audio, tekstur, script, antarmuka, dan komponen interaksi ke dalam satu paket aplikasi. Hasil akhir terdiri atas satu file eksekusi dan folder data pendukung.

Pengujian teknis dilakukan sejak tahap integrasi dengan memeriksa setiap *collider*, tag, script, sumber audio, alat pemukul, dan objek tangan secara terpisah. Produk juga diuji oleh beberapa rekan sejawat dan dosen pembimbing. Hasil pengujian internal tidak menemukan kondisi berupa aplikasi berhenti secara tiba-tiba, objek tidak merespons, audio gagal diputar, atau interaksi utama tidak dapat digunakan. Talempong dan canang dapat menghasilkan suara ketika dipukul, gandang dapat membedakan bunyi pada sisi kanan dan kiri, serta dua alat pemukul dapat diambil secara bersamaan.

Beberapa data yang tidak sesuai dengan kondisi yang diharapkan ditemukan selama proses produksi. Masalah pertama berupa tumpang tindih *seam* pada UV map yang menyebabkan tekstur hasil *baking* berpotensi tampak pecah atau bergaris. Masalah tersebut diperbaiki dengan memeriksa ulang tata letak UV dan memindahkan posisi *seam* ke bagian objek yang tidak terlihat secara langsung. Masalah kedua terjadi pada konfigurasi *collider*, tag, audio, dan script gandang katindiak. Pertukaran tag atau pemasangan audio pada sisi yang salah menyebabkan sistem tidak memberikan respons yang sesuai. Perbaikan dilakukan melalui penamaan objek yang konsisten dan pengujian terpisah pada sisi kanan serta sisi kiri sebelum sistem digabungkan.

Tabel 4. Temuan teknis dan hasil perbaikan

Temuan	Kondisi yang Ditemukan	Tindakan Perbaikan	Hasil Setelah Perbaikan
Tumpang tindih UV	Tekstur berpotensi pecah atau menampilkan garis pada permukaan objek.	Mengatur ulang UV dan memindahkan posisi seam.	Tekstur dapat ditampilkan dengan lebih rapi pada model.
Kesalahan tag gandang	Sistem tidak dapat mengenali sisi instrumen atau tangan pengguna.	Menyamakan tag pada tangan dan objek interaksi.	Sentuhan pengguna dapat dikenali oleh sistem.
Audio kanan dan kiri tertukar	Bunyi "dum" dan "tak" tidak sesuai dengan posisi pukulan.	Memeriksa kembali hubungan antara Audio Source dan audio clip.	Setiap sisi menghasilkan suara sesuai dengan konfigurasinya.

Temuan	Kondisi yang Ditemukan	Tindakan Perbaikan	Hasil Setelah Perbaikan
Collider tidak tepat	Pukulan tidak terdeteksi pada bagian tertentu.	Mengatur kembali ukuran dan posisi collider.	Area pukulan dapat merespons interaksi dengan baik.
Penamaan objek tidak konsisten	Komponen sulit diperiksa ketika terjadi kesalahan.	Menerapkan penamaan objek berdasarkan instrumen dan sisi pukulan.	Proses pemeriksaan komponen menjadi lebih terstruktur.

Pengujian yang telah dilakukan masih terbatas pada rekan sejawat dan dosen pembimbing yang memahami proses pengembangan aplikasi. Data kuantitatif mengenai kepuasan, kenyamanan, kemudahan penggunaan, ketepatan visual, peningkatan pemahaman, dan perubahan ketertarikan pengguna belum tersedia pada tahap ini. Pengujian kepada pengguna yang lebih beragam direncanakan melalui kegiatan pameran dengan menggunakan kuesioner berbasis Google Form. Oleh karena itu, bagian hasil ini hanya melaporkan keluaran produksi dan pengujian fungsional internal tanpa menyajikan klaim mengenai peningkatan minat atau pemahaman pengguna.

Penelitian ini tidak menggunakan persamaan matematika karena hasil yang diperoleh berupa keluaran pengembangan multimedia, fungsi interaksi, dokumentasi visual, dan temuan pengujian teknis.

PEMBAHASAN

Hasil pengembangan menunjukkan bahwa aplikasi Eksplorasi Musik Tradisional Minangkabau telah mampu mengintegrasikan representasi visual, karakter audio, informasi budaya, dan interaksi pengguna ke dalam satu lingkungan *virtual reality*. Ketercapaian tersebut terlihat dari berfungsinya model tiga dimensi talempong, canang, dan gandang katindiak, sistem pengambilan alat pemukul, pemutaran suara berdasarkan benturan, serta pembedaan bunyi pada kedua sisi gandang. Temuan ini menjawab tujuan penelitian pada tingkat pengembangan produk, yaitu menghasilkan media imersif yang memungkinkan pengguna mengenali dan mencoba memainkan instrumen tradisional Minangkabau secara virtual. Aplikasi tidak hanya menyajikan instrumen sebagai objek yang dapat diamati, tetapi juga memberikan kesempatan kepada pengguna untuk berinteraksi melalui gerakan tangan dan alat pemukul. Meskipun demikian, keberhasilan yang diperoleh masih berada pada tingkat fungsional produk dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan adanya peningkatan pemahaman atau ketertarikan pengguna karena pengujian kepada audiens yang lebih luas belum dilaksanakan.

Penerapan *Multimedia Development Life Cycle* memberikan alur kerja yang sesuai dengan karakter produk yang menggabungkan model tiga dimensi, audio, antarmuka, pemrograman, dan perangkat *virtual reality*. Tahapan konsep membantu peneliti menetapkan identitas visual dan sasaran aplikasi, sedangkan tahap perancangan menjadi dasar penyusunan navigasi serta pola interaksi. Tahap pengumpulan bahan memastikan bahwa bentuk dan suara instrumen dikembangkan berdasarkan dokumentasi objek asli. Tahap pembuatan kemudian menghubungkan seluruh komponen tersebut menjadi aplikasi yang dapat dijalankan. Pola pengembangan ini sejalan dengan kecenderungan penelitian media VR yang menempatkan perencanaan visual dan interaksi sebagai bagian penting sebelum produk diimplementasikan. Handayani & Hasanah (2025), misalnya, menemukan bahwa *storyboard* yang disusun secara terarah dapat menjadi pedoman pengembangan media VR dan memperoleh penilaian kelayakan yang tinggi dari ahli media maupun ahli materi. Darojat et al. (2022) juga menunjukkan bahwa pengembangan VR perlu melalui tahapan analisis kebutuhan, produksi, validasi, dan penyempurnaan agar media yang dihasilkan sesuai dengan tujuan penggunaannya.

Representasi visual instrumen menjadi salah satu unsur penting dalam produk ini karena talempong dan canang mempunyai bentuk yang hampir serupa. Pembedaan bentuk *bevel*, ukuran, susunan, dan karakter material membantu pengguna mengenali ciri masing-masing instrumen. Talempong ditampilkan dengan bagian ujung yang cenderung cekung, sedangkan canang memiliki bentuk yang lebih cembung. Gandang katindiak direpresentasikan melalui bentuk badan kayu, membran pada kedua sisi, tali pengikat, dan ring yang mengelilingi badan instrumen. Ketelitian tersebut diperlukan agar digitalisasi tidak hanya menghasilkan objek yang menarik secara visual, tetapi juga tetap mempertahankan ciri instrumen aslinya. Kajian organologis Syeilendra & Parmadi (2022) menegaskan bahwa bentuk, bahan, konstruksi, dan cara menghasilkan bunyi merupakan bagian penting untuk memahami identitas talempong. Nursyirwan et al. (2025) juga memperlihatkan bahwa talempong memiliki keragaman bentuk, bahan, ukuran, serta sistem tonalitas dalam praktik musik Minangkabau. Oleh karena itu, ketepatan model tiga dimensi dan audio pada aplikasi berfungsi sebagai bagian dari penyampaian pengetahuan budaya, bukan sekadar unsur dekoratif.

Penggunaan rekaman suara instrumen asli memperkuat keterhubungan antara objek virtual dan karakter musikal yang direpresentasikan. Respons suara pada talempong dan canang muncul ketika alat pemukul mengenai area *collider*, sedangkan bunyi "dum" dan "tak"

pada gandang katindiak dibedakan berdasarkan sisi pukulan. Pengaturan tersebut membuat interaksi pengguna lebih dekat dengan prinsip dasar permainan instrumen fisik. Keputusan untuk membedakan posisi pukulan dan keluaran suara juga penting karena musik tradisional tidak hanya dikenali melalui bentuk instrumennya, tetapi melalui hubungan antara teknik memainkan, pola bunyi, dan fungsi sosialnya. Aisyah & Idawati (2025) menjelaskan bahwa talempong memiliki fungsi sebagai media ekspresi, hiburan, pengiring kegiatan tradisional, pengintegrasi masyarakat, dan sarana pelestarian budaya. Produk yang dikembangkan pada penelitian ini belum merepresentasikan seluruh fungsi sosial tersebut, tetapi telah menyediakan dasar pengalaman audiovisual yang dapat digunakan sebagai pintu masuk untuk mengenalkan instrumen kepada pengguna.

Lingkungan virtual yang menggunakan unsur ruang tradisional, motif Minangkabau, material kayu, warna cokelat gelap, dan pencahayaan kuning keemasan berperan membangun konteks tempat bagi instrumen yang ditampilkan. Penataan tersebut menghindarkan instrumen dari penyajian yang terpisah dari latar budayanya. Pengguna tidak hanya melihat model alat musik pada ruang kosong, tetapi memasuki lingkungan yang secara visual mengarah pada suasana interior tradisional Minangkabau. Interaksi menggunakan dua tangan, kemampuan mengambil alat pemukul, serta keluaran audio secara langsung juga mendukung munculnya kesan kehadiran pengguna di dalam lingkungan virtual. Austermann et al. (2025) menemukan bahwa penggunaan VR dapat menghasilkan tingkat *presence* dan imersi yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan media layar tablet. Temuan tersebut mendukung rancangan aplikasi ini, tetapi tingkat *presence* pengguna pada produk yang dikembangkan belum diukur menggunakan instrumen khusus. Kualitas ruang, pencahayaan, interaksi, dan audio pada penelitian ini baru dapat dinyatakan sebagai komponen yang berpotensi membangun pengalaman imersif, bukan bukti empiris bahwa seluruh pengguna telah merasakan tingkat kehadiran virtual yang tinggi.

Penyajian petunjuk pada menu awal membantu pengguna memahami kontrol dasar sebelum memasuki ruang utama. Strategi ini penting karena pengguna yang belum terbiasa dengan perangkat VR dapat mengalami kebingungan ketika harus menggerakkan karakter, mengambil alat pemukul, atau menyentuh instrumen. Penempatan informasi sebelum eksplorasi juga mengurangi kemungkinan pengguna menjalankan aplikasi melalui percobaan yang tidak terarah. Penggabungan teks, model tiga dimensi, suara, dan gerakan pengguna perlu tetap dikendalikan agar tidak menimbulkan beban informasi yang berlebihan. *Cognitive Theory of Multimedia Learning* menekankan bahwa materi multimedia perlu menyeleksi dan

mengatur unsur visual serta audio secara terarah agar pengguna dapat membangun hubungan yang bermakna antara informasi baru dan pengetahuan yang telah dimiliki (Cavanagh & Kiersch, 2023). Prinsip tersebut relevan dengan produk ini karena informasi budaya, petunjuk penggunaan, bentuk instrumen, dan audio diproses secara bersamaan. Penyederhanaan teks, penataan fokus cahaya, dan pembatasan objek pada ruang utama dapat membantu pengguna memusatkan perhatian pada aktivitas mengenali serta memainkan instrumen.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu menunjukkan bahwa produk ini memiliki arah pengembangan yang lebih khusus pada pengalaman memainkan instrumen tradisional. Atmojo et al. (2022) mengembangkan konsep pembelajaran seni budaya berbasis kearifan lokal Sumatera Utara menggunakan VR untuk menghadirkan sumber belajar yang lebih nyata dan kontekstual. Sovia et al. (2019) memanfaatkan VR untuk memperkenalkan kampung tradisional Minangkabau melalui simulasi lingkungan tiga dimensi yang dapat dieksplorasi pengguna. Kedua penelitian tersebut memperlihatkan potensi VR dalam memperkenalkan budaya lokal, tetapi objek utamanya masih berupa materi seni budaya secara umum dan lingkungan arsitektur tradisional. Produk pada penelitian ini memperluas pemanfaatan tersebut ke wilayah warisan musikal dengan menambahkan simulasi pukulan, alat pemukul yang dapat dipegang, keluaran audio, dan perbedaan respons pada bagian instrumen. Tinjauan Osei Bonsu et al. (2025) mengenai penggunaan VR pada pendidikan sejarah juga menunjukkan bahwa rekonstruksi lingkungan dan objek budaya dapat membantu menghadirkan pengalaman yang sulit diperoleh melalui media konvensional. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi visual, bunyi, dan gerak pengguna untuk mengenalkan musik tradisional Minangkabau sebagai pengalaman interaktif, bukan hanya sebagai informasi yang diamati.

Temuan teknis berupa tumpang tindih UV, kesalahan tag, pertukaran audio kanan dan kiri, serta ketidaktepatan posisi *collider* menunjukkan bahwa kualitas aplikasi VR bergantung pada keterhubungan yang akurat antara aset visual dan logika pemrograman. Model yang tampak benar secara visual belum tentu dapat memberikan respons yang sesuai apabila konfigurasi komponen di Unity tidak tepat. Perbaikan tata letak UV dan pemindahan *seam* menghasilkan tekstur yang lebih rapi, sedangkan penerapan penamaan objek secara konsisten mempermudah pemeriksaan hubungan antara *collider*, *Audio Source*, *audio clip*, script, dan tag. Proses *baking* tekstur sebelum aset dimasukkan ke Unity juga membantu menyederhanakan pemrosesan detail permukaan secara waktu nyata. Temuan tersebut

memberikan pelajaran metodologis bahwa pengujian sebaiknya dilakukan secara bertahap pada setiap objek sebelum seluruh komponen disatukan. Pemeriksaan terpisah pada sisi kanan dan kiri gandang, misalnya, lebih efektif untuk menemukan kesalahan dibandingkan pengujian setelah seluruh sistem selesai diintegrasikan.

Implikasi praktis penelitian ini berkaitan dengan tersedianya alternatif media pengenalan musik tradisional ketika instrumen fisik, ruang praktik, dan tenaga pengajar terbatas. Sekolah, perguruan tinggi, museum, studio seni, dan lembaga kebudayaan dapat menggunakan aplikasi sejenis sebagai media pengantar sebelum pengguna berlatih menggunakan instrumen asli. Penggunaan teknologi pada konteks ini tidak dimaksudkan untuk menggantikan musisi, guru seni, atau pengalaman belajar langsung bersama komunitas budaya. Aplikasi lebih tepat ditempatkan sebagai media pendukung yang memperluas akses awal terhadap bentuk, suara, dan cara memainkan instrumen. Atmojo et al. (2022) menyatakan bahwa pemanfaatan VR pada pembelajaran seni budaya dapat menghubungkan teknologi informasi dengan materi kearifan lokal. Produk penelitian ini memperkuat gagasan tersebut melalui pengalaman yang lebih berorientasi pada tindakan, karena pengguna dapat memukul dan menyentuh objek musik secara virtual.

Keterbatasan penelitian terletak pada lingkup pengujian yang masih melibatkan rekan sejawat dan dosen pembimbing. Pengujian tersebut cukup untuk mengidentifikasi kegagalan fungsi, tetapi belum memberikan gambaran yang mewakili pengalaman pelajar, mahasiswa, masyarakat umum, atau pengguna yang belum pernah menggunakan perangkat VR. Data mengenai kemudahan penggunaan, kenyamanan, *presence*, ketepatan representasi budaya, ketertarikan, dan pemahaman pengguna belum tersedia. Pengukuran teknis seperti latensi audio, kestabilan *frame rate*, waktu respons interaksi, kebutuhan perangkat keras, dan kemungkinan *cybersickness* juga belum dilakukan. Produk masih terbatas pada tiga instrumen dan dibangun untuk platform Windows, sehingga jangkauan perangkat serta materi budaya yang disajikan belum luas. Penelitian berikutnya perlu melibatkan ahli musik Minangkabau, ahli media, guru seni, dan pengguna sasaran melalui instrumen penilaian yang tervalidasi. Pengujian dapat diperluas menggunakan desain sebelum dan sesudah penggunaan, skala *presence*, pengukuran *usability*, observasi perilaku pengguna, serta wawancara untuk menilai pengalaman secara lebih mendalam. Pengembangan lanjutan juga dapat menambahkan pola permainan, repertoar tradisional, narasi sejarah, pilihan tingkat kesulitan, dan dukungan lintas perangkat agar aplikasi memiliki manfaat pembelajaran dan pelestarian yang lebih terukur.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, pengembangan aplikasi musik tradisional Minangkabau berbasis *immersive technology* telah menghasilkan media *virtual reality* yang memuat instrumen talempong, canang, dan gandang katindiak dalam bentuk model tiga dimensi yang interaktif. Ketiga instrumen dikembangkan dengan memperhatikan ciri visual, material, bentuk, dan karakter bunyinya, termasuk perbedaan *bevel* pada talempong dan canang serta bunyi "dum" dan "tak" pada kedua sisi gandang katindiak. Sistem interaksi berbasis *collider*, *controller* VR, script deteksi sentuhan, dan pemutaran audio memungkinkan pengguna melihat, memegang alat pemukul, serta mencoba memainkan instrumen menggunakan kedua tangan. Pengujian fungsional bersama rekan sejawat dan dosen pembimbing menunjukkan bahwa navigasi, respons objek, dan keluaran audio dapat berjalan sesuai rancangan. Temuan ini menunjukkan bahwa teknologi imersif dapat digunakan sebagai media alternatif untuk memperkenalkan bentuk, suara, dan cara memainkan alat musik tradisional Minangkabau secara lebih visual dan interaktif. Namun, hasil penelitian ini belum dapat digunakan untuk menyimpulkan adanya peningkatan minat atau pemahaman pengguna karena pengujian kepada kelompok sasaran yang lebih luas belum dilaksanakan.

Kontribusi penelitian ini terletak pada integrasi unsur budaya, model tiga dimensi, rekaman audio instrumen asli, dan interaksi gerak ke dalam satu lingkungan pembelajaran virtual. Secara praktis, produk yang dikembangkan dapat menjadi media pendukung bagi sekolah, perguruan tinggi, museum, studio seni, dan lembaga kebudayaan dalam mengenalkan musik tradisional ketika ketersediaan instrumen fisik dan tenaga pengajar masih terbatas. Penelitian selanjutnya disarankan melibatkan pelajar, mahasiswa, guru seni, praktisi musik, dan ahli budaya dalam pengujian yang lebih luas dengan menggunakan instrumen penilaian yang telah divalidasi. Pengembangan berikutnya juga perlu mengukur kemudahan penggunaan, kenyamanan, tingkat *presence*, latensi audio, kestabilan sistem, pemahaman budaya, dan perubahan ketertarikan pengguna sebelum dan sesudah menggunakan aplikasi. Penambahan repertoar musik, pola permainan, narasi sejarah, tingkat kesulitan, serta jenis instrumen Minangkabau lainnya juga diperlukan agar cakupan pembelajaran dan nilai pelestarian produk menjadi lebih kuat.

DAFTAR PUSTAKA

Aisyah, A., & Idawati, I. (2025). Fungsi Musik Talempong bagi Masyarakat di Nagari Andiang Kecamatan Suliki Kabupaten Lima Puluh Kota Sumatera Barat. *Journal of Creative Student Research, 3*(1), 156–166. https://doi.org/10.55606/jcsr-politama.v3i1.4746

Atmojo, W. T., Suroso, P., & Rahmah, S. (2022). Pembelajaran Seni Budaya dengan Menggunakan Media Virtual Reality (VR) pada Tingkat Satuan SMA Berbasis Local Wisdom Sumatera Utara. *Gondang: Jurnal Seni dan Budaya, 6*(1), 182–187. https://doi.org/10.24114/gondang.v6i1.35852

Austermann, C., Blanckenburg, F., Blanckenburg, K., & Utesch, T. (2025). Exploring the impact of virtual reality on presence: Findings from a classroom experiment. *Frontiers in Education, 10*, Article 1560626. https://doi.org/10.3389/feduc.2025.1560626

Cavanagh, T. M., & Kiersch, C. (2023). Using commonly available technologies to create online multimedia lessons through the application of the cognitive theory of multimedia learning. *Educational Technology Research and Development, 71*, 1033–1053. https://doi.org/10.1007/s11423-022-10181-1

Conrad, M., Kablitz, D., & Schumann, S. (2024). Learning effectiveness of immersive virtual reality in education and training: A systematic review of findings. *Computers & Education: X Reality, 4*, Article 100053. https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053

Darojat, M. A., Ulfa, S., & Wedi, A. (2022). Pengembangan Virtual Reality sebagai Media Pembelajaran Sistem Tata Surya. *JKTP: Jurnal Kajian Teknologi Pendidikan, 5*(1), 91–99. https://doi.org/10.17977/um038v5i12022p091

Falma, F. O., Ambiyar, & Aziz, I. (2021). The traditional musical instrument of West Sumatera as a non-formal education. *International Journal of Humanities Education and Social Sciences, 1*(3), 82–86. https://doi.org/10.55227/ijhess.v1i3.52

Handayani, N. F., & Hasanah, F. N. (2025). Exploring virtual reality storyboard design for hardware material class. *JICTE: Journal of Information and Computer Technology Education, 9*(1), 1–10. https://doi.org/10.21070/jicte.v9i1.1671

Hazfira, N. D., & Ferdian, R. (2025). Tantangan dan Strategi Guru Seni Budaya terhadap Siswa Inklusif pada Pembelajaran Talempong Pacik Kelas VIII SMP Negeri 30 Padang. *Edumusika: Jurnal Ilmiah Pendidikan Musik, 3*(1), 25–35. https://doi.org/10.24036/em.v3i1.108

Musril, H. A., Jasmienti, & Hurrahman, M. (2020). Implementasi Teknologi Virtual Reality pada Media Pembelajaran Perakitan Komputer. *Jurnal Nasional Pendidikan Teknik Informatika: JANAPATI, 9*(1), 83–95. https://doi.org/10.23887/janapati.v9i1.23215

Nursyirwan, Enida, D., Alfalah, & Najmi, M. (2025). Talempong music in West Sumatra: Application of tonalities in traditional Minangkabau music performances. *SPAFA Journal, 9*, 78–92. https://doi.org/10.26721/spafajournal.i39kf22kki

Osei Bonsu, N., Zagami, J., Pendergast, D., & Boadu, G. (2025). Virtual reality utilisation in history education: Discovery through a systematic quantitative literature review. *Issues and Trends in Learning Technologies, 12*(2), 34–71. https://doi.org/10.2458/itlt.5995

Riyadi, L., & Budiman, N. (2023). Capaian Pembelajaran Seni Musik pada Kurikulum Merdeka sebagai Wujud Merdeka Belajar. *Musikolastika: Jurnal Pertunjukan dan Pendidikan Musik, 5*(1), 40–50. https://doi.org/10.24036/musikolastika.v5i1.104

Sovia, R., Putra, M. R., Permana, R., & Restiady, A. (2019). Virtual Reality Pengenalan Kampung Tradisional Minangkabau Berbasis Android. *Sebatik, 23*(1), 256–262. https://doi.org/10.46984/sebatik.v23i1.477

Syeilendra, & Parmadi, B. (2022). Musical instrument "Talempong Minangkabau" in organological study. *Humanus: Jurnal Ilmiah Ilmu-Ilmu Humaniora, 21*(1), 147–155. https://doi.org/10.24036/humanus.v21i1.114208

Wang, H., Gao, Z., Zhang, X., Du, J., Xu, Y., & Wang, Z. (2024). Gamifying cultural heritage: Exploring the potential of immersive virtual exhibitions. *Telematics and Informatics Reports, 15*, Article 100150. https://doi.org/10.1016/j.teler.2024.100150

Zhao, Y., Li, Y., Dai, T., Sedini, C., Wu, X., Jiang, W., Li, J., Zhu, K., Zhai, B., Li, M., & LC, R. A. Y. (2025). Virtual reality in heritage education for enhanced learning experience: A mini-review and design considerations. *Frontiers in Virtual Reality, 6*, Article 1560594. https://doi.org/10.3389/frvir.2025.1560594

Zou, C., Rhee, S.-Y., He, L., Chen, D., & Yang, X. (2024). Sounds of history: A digital twin approach to musical heritage preservation in virtual museums. *Electronics, 13*(12), Article 2388. https://doi.org/10.3390/electronics13122388