

SAKALIMA
PILAR PEMBERDAYAAN MASYARAKAT PENDIDIKAN
VOL 3. NO. 2 (2026)

ISSN: 3064-2361

Virtual Reality Terintegrasi Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) Pada Gelombang Cahaya & Bunyi: Upaya Untuk Melatih Pemahaman Konsep

Zidny Manaasika[✉], Antomi Saregar[✉], dan Trimo Saputro[✉]

To cite this article Manaasika, Z., Saregar, A., Saputro, T. Virtual Reality Terintegrasi Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) Pada Gelombang Cahaya & Bunyi: Upaya Untuk Melatih Pemahaman Konsep. *SAKALIMA Pilar Pemberdaya. Masy. Pendidik.*, vol. 3, no. 2, pp. 397–415, 2026. <https://doi.org/10.70211/sakalima.v3i2.577>



Published online: June. 15, 2026



Submit your article to this journal



View crossmark data



Virtual Reality Terintegrasi Cognitive Theory of Multimedia Learning (CTML) Pada Gelombang Cahaya & Bunyi: Upaya Untuk Melatih Pemahaman Konsep

Zidny Manaasika*; Antomi Saregar; Trimo Saputro

Received: 30 April 2026

Revised: 15 Mei 2026

Accepted: 10 Juni 2026

Online: 15 Juni 2026

Abstract

Physics education still faces challenges in helping students understand abstract concepts, particularly those related to light and sound waves, which are difficult to observe directly using conventional teaching materials. This study aims to develop a Virtual Reality learning medium integrated with the Cognitive Theory of Multimedia Learning for the topics of light and sound waves as an effort to develop CTML-integrated VR media that has the potential to support students' conceptual understanding. This study employs a Research and Development method by applying the Borg and Gall model, stages 1–7. The research sample consists of 70 students from two MAN schools in Bandar Lampung. Data were collected through observation, interviews, subject matter expert validation, media expert validation, as well as student and teacher response questionnaires. The developed product consists of five interactive scenes that visualize light and sound wave phenomena in a three-dimensional and immersive manner. The integration of signal, redundancy, and sound principles within the VR medium was used to help manage visual and auditory information, thereby making the presentation of the material more focused, simple, and easy to understand. The results of this study indicate that the media received a feasibility rating of 90% from subject matter experts and 87% from media experts, as well as a response rate of 90% from students and 91% from educators, with a rating of highly feasible. This study found that CTML-integrated virtual reality media makes a positive contribution to the development of digital technology for physics education that takes into account students' cognitive processes; however, further research is recommended to directly test the effectiveness of this media on students' conceptual understanding.

Keywords: Concept Understanding; CTML; Virtual Reality.

Publisher's Note:

WISE Pendidikan Indonesia stays neutral with regard to jurisdictional claims in published maps and institutional affiliations.



Copyright:

©

2026 by the author(s).

License WISE Pendidikan Indonesia, Bandar Lampung, Indonesia. This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY 4.0) license.

(<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).



PENDAHULUAN

Pendidikan Indonesia dituntut untuk membentuk peserta didik yang tidak hanya menguasai pengetahuan, tetapi juga mampu memahami konsep, berpikir kritis, dan beradaptasi dengan perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi [1], [2], [3]. Proses pembelajaran fisika di sekolah masih banyak berfokus pada penyampaian informasi dan hafalan, sehingga peserta didik belum sepenuhnya terlibat dalam proses membangun pemahaman konsep secara aktif [4]. Kondisi ini menjadi masalah karena fisika membutuhkan pemahaman konseptual untuk menjelaskan berbagai fenomena alam [5]. Kesulitan tersebut semakin nyata pada materi gelombang cahaya dan bunyi karena melibatkan proses perambatan, pemantulan, dan interaksi gelombang yang tidak selalu dapat diamati secara langsung [6], [7]. Akibatnya, peserta didik kerap membangun penjelasan berdasarkan pengalaman sehari-hari yang belum tentu sesuai dengan konsep ilmiah. Kondisi ini dapat memunculkan miskonsepsi, seperti asumsi bahwa bunyi dapat merambat di ruang hampa, cahaya hanya bergerak lurus tanpa mengalami perubahan arah dalam medium berbeda, atau intensitas gelombang selalu sama dengan cepat rambat gelombang [8], [9]. Miskonsepsi perlu diperhatikan karena dapat menghambat peserta didik dalam memahami hubungan antar konsep dan menerapkan prinsip fisika pada situasi baru. Oleh karena itu, pembelajaran gelombang cahaya dan bunyi perlu didukung oleh representasi konsep yang beragam, seperti gambar, diagram, grafik, persamaan matematis, simulasi, dan penjelasan verbal [10]. Penggunaan representasi yang tepat membantu peserta didik menghubungkan fenomena nyata, model konseptual, dan formulasi matematis, sehingga pemahaman mereka tidak berhenti pada hafalan, tetapi berkembang menjadi pemahaman konseptual yang lebih utuh.

Berdasarkan hasil pra-penelitian yang dilakukan di SMAS Gajah Mada Bandar Lampung, MAN 1 Bandar Lampung, dan MAN 2 Bandar Lampung menggunakan tes awal berbasis indikator pemahaman konsep pada materi gelombang dan cahaya. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa kemampuan pemahaman konsep fisika peserta didik berada pada kategori rendah. Peserta didik masih mengalami kesulitan dalam memahami konsep dasar fisika serta belum mampu mengaitkannya dengan penerapan dalam kehidupan sehari-hari. Hasil angket menunjukkan bahwa 79% peserta didik mengalami kesulitan memahami konsep fisika, sementara 70% menyatakan bahwa media pembelajaran yang digunakan kurang menarik. Hasil wawancara dengan guru mengungkapkan bahwa proses pembelajaran masih didominasi penggunaan buku cetak dan metode ceramah, sementara pemanfaatan media berbasis teknologi interaktif belum dilakukan secara optimal. Permasalahan ini berpotensi membatasi keterlibatan peserta didik dalam proses belajar serta menghambat terbentuknya pemahaman konsep yang menyeluruh, sehingga diperlukan inovasi pembelajaran yang mampu menghadirkan pengalaman belajar yang lebih visual dan interaktif.

Salah satu teknologi yang berkembang pesat dan berpotensi dimanfaatkan dalam pembelajaran ialah *Virtual Reality* (VR) [11]. Teknologi ini mampu menghadirkan representasi fenomena secara lebih nyata [12], [13]. Sejumlah penelitian melaporkan bahwa *Virtual Reality* (VR) telah digunakan dalam pembelajaran matematika, biologi, kimia, IPA, sejarah, fisika, dan bidang lainnya [14], [15], [16], [17], [18]. Pemanfaatan VR secara umum dilaporkan mampu meningkatkan keterlibatan, motivasi, dan pengalaman belajar peserta didik [19], [20], [21], [22], [23]. Namun, penggunaan VR dalam pembelajaran fisika belum sepenuhnya menunjukkan peningkatan yang signifikan terhadap pemahaman konsep

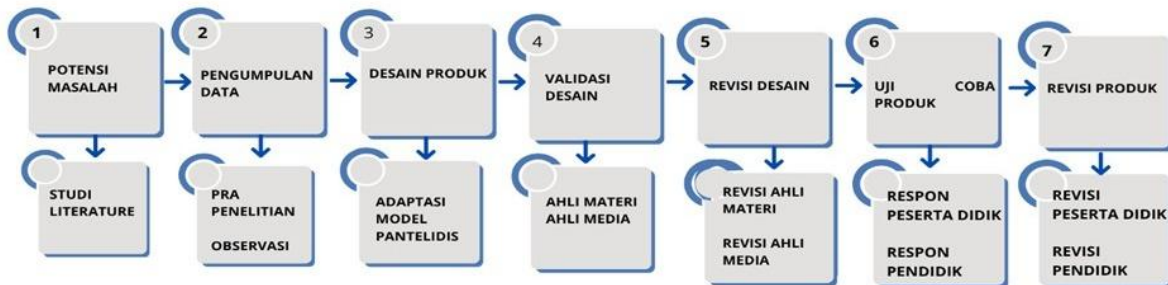
dibandingkan metode konvensional [24]. Hal ini terjadi karena pengembangan VR masih lebih banyak menitikberatkan pada aspek implementasi teknologi daripada bagaimana media tersebut membantu peserta didik membangun pemahaman konsep secara mendalam [25]. Kondisi ini menunjukkan bahwa pengembangan VR tidak cukup hanya berfokus pada daya tarik visual dan implementasi teknologi, tetapi juga perlu memperhatikan cara peserta didik memproses informasi selama pembelajaran [26], [27], [28], [29], menegaskan bahwa pengembangan media VR memerlukan landasan teoretis yang dapat mengarahkan penyajian informasi visual dan auditori secara efektif.

Salah satu landasan teori yang relevan dalam konteks pembelajaran berbasis visual ialah *Cognitive Theory of Multimedia Learning*, yang menjelaskan bahwa pembelajaran akan lebih optimal ketika informasi visual dan verbal disajikan secara terorganisasi sesuai dengan kapasitas kognitif peserta didik [30], [31]. Penerapan prinsip CTML dalam lingkungan VR dilaporkan mampu mendukung kualitas proses belajar peserta didik [28]. Hal ini terlihat dari peningkatan kinerja peserta didik dalam berpikir kritis dan menyelesaikan tugas-tugas praktis [32]. Selain itu, VR yang dirancang berdasarkan prinsip CTML juga berpotensi meningkatkan *self-regulated learning* (SRL), motivasi belajar, hasil kognitif, serta kemampuan peserta didik dalam menyelesaikan tugas [33], [34], [35]. Integrasi prinsip CTML dalam pengembangan VR dapat membantu peserta didik memahami konsep melalui kombinasi visualisasi tiga dimensi, narasi, arahan, dan aktivitas belajar yang lebih terstruktur. Dengan demikian, persoalan utama bukan teknologi VR, melainkan pada perancangan dan integrasinya dalam proses kognitif peserta didik. Meskipun penelitian sebelumnya telah menunjukkan manfaat penerapan CTML dalam lingkungan VR, sebagian besar kajian masih berfokus pada efektivitas VR terhadap aspek-aspek umum pembelajaran, seperti berpikir kritis, penyelesaian tugas praktis, motivasi, *self-regulated learning*, dan hasil kognitif peserta didik. Kajian-kajian tersebut belum banyak menjelaskan bagaimana prinsip CTML diterapkan secara langsung dalam desain VR untuk memfasilitasi pemahaman konsep fisika yang bersifat abstrak dan multirepresentasional. Selain itu, pengembangan VR berbasis CTML pada materi gelombang cahaya dan bunyi masih belum banyak dibahas secara terpadu. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya pengembangan media VR yang tidak hanya menampilkan visualisasi tiga dimensi, tetapi juga dirancang berdasarkan prinsip CTML melalui penyajian visual, narasi, arahan belajar, dan aktivitas konseptual yang terstruktur.

Berdasarkan kesenjangan tersebut, penelitian ini bertujuan mengembangkan media pembelajaran *Virtual Reality* dengan mengintegrasikan *Cognitive Theory of Multimedia Learning* pada materi gelombang cahaya dan bunyi untuk melatih pemahaman konsep peserta didik dengan berfokus pada proses pengembangan VR tanpa mengevaluasi peningkatan pemahaman konsep atau melihat efektivitasnya. Media ini dikembangkan sebagai upaya untuk membantu peserta didik memahami konsep fisika melalui pengalaman belajar yang visual, interaktif, dan sesuai dengan prinsip kognitif pembelajaran multimedia. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan media pembelajaran yang layak digunakan dan relevan untuk mendukung peningkatan pemahaman konsep peserta didik dalam pembelajaran fisika.

METODOLOGI

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan model penelitian dan pengembangan (*Research and Development*) yang diarahkan pada perancangan serta pembuatan produk tertentu. Model pengembangan yang digunakan mengadaptasi langkah-langkah penelitian VR dalam pembelajaran penelitian pengembangan yang diperkenalkan oleh Borg and Gall, tahap 1-7 [36]. Model pengembangan borg and gall dipilih karena peneliti dapat membatasi penelitian sesuai dengan kebutuhan penelitian dan pengembangan yang dilakukan. Berikut adalah tahapan-tahapan prosedur penelitian dari borg and gall pada gambar 1.



Gambar 1. Prosedur Penelitian

Identifikasi Potensi dan Masalah

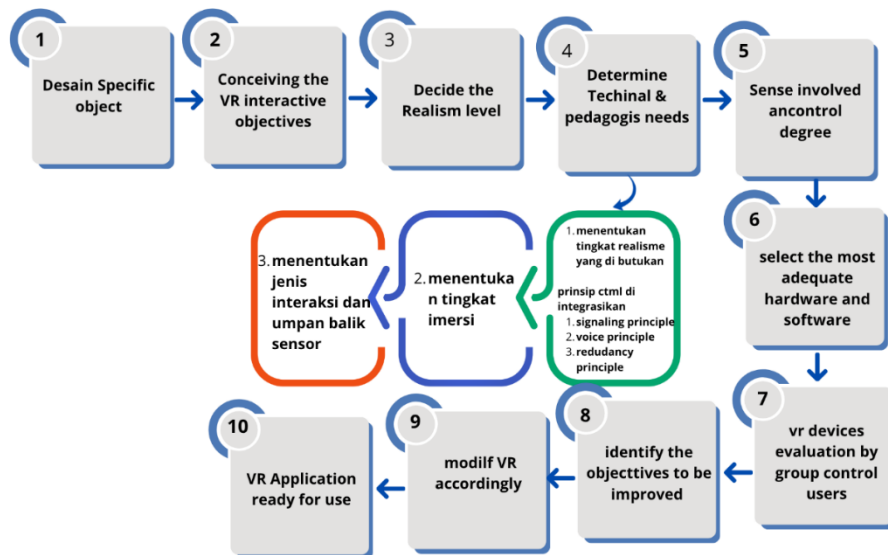
Analisis potensi dan masalah dilakukan untuk mengetahui kondisi awal pembelajaran fisika di sekolah serta mengidentifikasi kendala yang dihadapi dalam proses belajar mengajar. Data dikumpulkan melalui observasi langsung terhadap kegiatan pembelajaran di kelas dan aktivitas belajar peserta didik, wawancara dengan pendidik, penyebaran angket kepada siswa, serta pemberian tes atau soal untuk mengukur pemahaman awal mereka terhadap materi fisika. Hasil dari potensi dan masalah ini digunakan sebagai dasar pertimbangan bahwa di perlukan pengembangan media pembelajaran *Virtual Reality*

Pengumpulan Data

Setelah tahap identifikasi potensi dan permasalahan diselesaikan, langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data yang mendukung proses pengembangan media pembelajaran. Data yang diperlukan dalam penelitian ini diperoleh melalui beberapa metode, antara lain wawancara dengan pendidik, observasi terhadap kegiatan pembelajaran di kelas, serta penyebaran angket dan pemberian soal kepada peserta didik.

Desain Produk

Pada tahap desain produk, peneliti mengacu pada model desain Pantelidis yang terdiri 10 tahap, dengan pelaksanaan dibatasi hingga tahap keenam untuk menyesuaikan alur penelitian dengan model Borg and Gall yang dimodifikasi hingga tahap ketujuh, yaitu revisi produk. Tahapan pengembangan mencakup penentuan tujuan pembelajaran, menentukan tujuan yang dapat menggunakan simulasi, menentekina tujuan yang memerlukan simulasi 3D interaktif, identifikasi kebutuhan teknis dan pedagogis, pemilihan platform VR, serta perancangan dan pembangunan *virtual environment*. Prinsip- prinsip CTML diintegrasikan pada tahap identifikasi kebutuhan teknis dan pedagogis sebagai dasar dalam perancangan media. Berikut langkah- langkah pengembangan desain produk pada gambar 2.



Gambar 2. Pengembangan VR dengan mengadaptasi model pantelidris

Validasi Desain

Validasi desain dilakukan untuk menilai kelayakan media pembelajaran berbasis *Virtual Reality* (VR) yang dikembangkan dengan prinsip *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML). Validasi ini melibatkan ahli materi dan ahli media, serta termasuk validasi rasional karena belum diuji langsung di lapangan. Validasi materi bertujuan menilai kelayakan isi, khususnya pada materi gelombang bunyi dan cahaya, kesesuaian dengan kurikulum, kelengkapan komponen, sistematika penyajian, dan pengorganisasian materi. Sementara itu, validasi media bertujuan menilai kelayakan tampilan, desain, dan kualitas media VR secara keseluruhan. Hasil validasi dari para ahli digunakan sebagai dasar revisi dan penyempurnaan produk agar media yang dikembangkan lebih layak, efektif, dan siap digunakan dalam proses pembelajaran.

Revisi Desain

Setelah proses validasi desain produk dilakukan oleh ahli materi dan ahli media, peneliti melakukan revisi terhadap desain media yang dikembangkan berdasarkan masukan dan saran yang diberikan oleh para validator.

Uji Coba Produk

Uji coba produk dilakukan dengan melibatkan 70 peserta didik kelas XI jurusan IPA dari MAN 1 dan MAN 2 Bandar Lampung, serta empat orang pendidik, masing-masing dua pendidik dari setiap sekolah. Uji coba dilaksanakan secara langsung dalam kegiatan pembelajaran. Data uji coba dikumpulkan melalui angket respons peserta didik dan angket respons pendidik untuk memperoleh informasi mengenai kepraktisan, keterlaksanaan, dan tanggapan pengguna terhadap produk yang dikembangkan.

Revisi Produk

Setelah uji coba produk dilakukan, peneliti melakukan revisi terhadap media yang dikembangkan berdasarkan hasil angket, masukan, dan saran dari pendidik serta peserta didik sebagai pengguna produk.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil dari pengembangan produk yang telah dilakukan pada penelitian ini berupa media pembelajaran fisika *Virtual Reality* (VR) yang terintegrasi *Cognitive Theory of Multimedia Learning* pada materi gelombang cahaya dan bunyi. Penelitian ini mengungkapkan bahwa pengembangan media pembelajaran dilakukan melalui sejumlah langkah yang sistematis.

Potensi dan Masalah

Penelitian diawali dengan analisis potensi dan permasalahan melalui studi kebutuhan guru dan peserta didik yang menjadi dasar dalam pengembangan penelitian. Data dikumpulkan melalui wawancara dengan pendidik, observasi serta penyebaran angket dan pemberian soal kepada peserta didik. Penelitian ini dilakukan di tiga sekolah, yaitu MAN 1, MAN 2 dan SMAS Gajah Mada Bandar Lampung yang memiliki fasilitas teknologi yang cukup memadai, seperti Wi-Fi dan penggunaan smartphone yang dapat mendukung penggunaan VR dalam proses pembelajaran. Peneliti kemudian menetapkan topik gelombang cahaya dan bunyi sebagai fokus dalam pengembangan media VR yang digunakan untuk meningkatkan pemahaman konsep peserta didik.

Hasil penelitian awal menunjukkan bahwa 79 % peserta didik mengalami kesulitan dalam memahami konsep fisika. Selain itu, peserta didik menyatakan bahwa media pembelajaran yang digunakan selama ini kurang menarik dan menyebabkan kebosanan dalam mengikuti pembelajaran, dengan presentasi sebesar 70%. Temuan tersebut menunjukkan perlunya inovasi pembelajaran yang mampu meningkatkan pemahaman konsep peserta didik. Salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk mengatasi permasalahan tersebut melalui penerapan teknologi dalam proses pembelajaran. pada penelitian ini, fokus diarahkan pada pengembangan media pembelajaran *Virtual Reality* yang diintegrasikan dengan *Cognitive Theory of Multimedia Learning* untuk melatih pemahaman konsep peserta didik .

Desain Produk

Desain produk media *Virtual Reality* disusun dengan mengintegrasikan prinsip dalam *Cognitive Theory of Multimedia Learning* (CTML) untuk melatih pemahaman konsep peserta didik. Setiap scene dirancang berdasarkan penerapan *signaling principle*, *redundancy principle*, dan *voice principle* sehingga penyajian informasi visual dan audio mampu mengarahkan perhatian peserta didik pada konsep penting serta mengurangi beban kognitif yang tidak diperlukan. Struktur *Virtual Reality* yang dikembangkan berdasarkan prinsip CTML disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Desain Scene VR Berdasarkan Prinsip CTML

| No | Scene VR | Konsep yang Disajikan | Prinsip CTML | Implementasi dalam VR |
|----|---------------------------------------|---|---|--|
| 1. | Pengenalan gelombang cahaya dan bunyi | Konsep dasar gelombang cahaya dan bunyi | Kombinasi signaling, redundancy dan voice | Menggunakan narasi suara manusia untuk menjelaskan gelombang cahaya dan bunyi, dengan menampilkan objek senter sebagai sumber cahaya dan speaker sebagai |

| No | Scene VR | Konsep yang Disajikan | Prinsip CTML | Implementasi dalam VR |
|----|---------------------------|---|---|--|
| | | | | sumber bunyi yang menghasilkan visualisasi gelombang. Gelombang bunyi divisualisasikan merambat melalui medium udara di depan speaker, sedangkan gelombang cahaya divisualisasikan merambat tanpa memerlukan medium. Label visual seperti memerlukan medium dan tidak memerlukan medium ditampilkan pada masing-masing visualisasi gelombang untuk menegaskan perbedaan karakteristik kedua jenis gelombang. |
| 2. | Pemantulan cahaya | Hubungan sudut datang dan sudut pantul | Kombinasi signaling, redundancy dan voice | Menggunakan narasi manusia untuk menjelaskan proses pemantulan cahaya dengan menampilkan garis datang yang berasal dari senter sebagai sumber cahaya menuju permukaan kaca, kemudian divisualisasikan sebagai garis pantul yang dipantulkan dari kaca menuju mata pengamat. Garis datang, garis pantul, dan garis normal ditampilkan dengan warna berbeda serta simbol sudut pada titik pantulan untuk menyoroti hubungan antara sudut datang dan sudut pantul. Label visual sudut datang dan sudut pantul digunakan sebagai penanda tanpa penggunaan teks narasi tertulis yang berlebihan |
| 3. | Permukaan halus dan kasar | Pengaruh jenis permukaan terhadap pantulan cahaya | Kombinasi signaling, redundancy dan voice | Menggunakan narasi suara manusia untuk menjelaskan perbedaan pantulan cahaya pada permukaan halus dan permukaan kasar dengan menampilkan beberapa garis datang sejajar dari sumber cahaya menuju berbagai objek seperti cermin, sendok, dan buku. Pada permukaan halus, garis pantul divisualisasikan sejajar dan teratur, sedangkan pada permukaan kasar garis pantul divisualisasikan menyebar ke berbagai arah. Label visual <i>permukaan halus</i> dan <i>permukaan kasar</i> ditampilkan sebagai penanda visual untuk membantu peserta didik membedakan karakteristik kedua jenis permukaan tanpa |

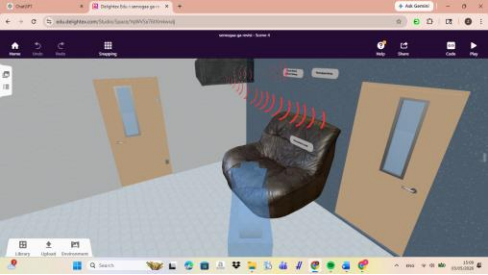
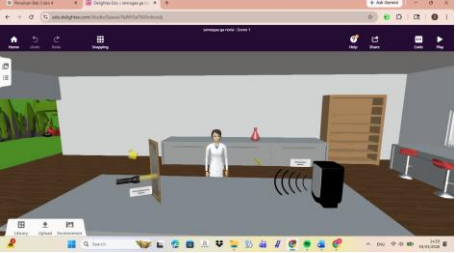
| No | Scene VR | Konsep yang Disajikan | Prinsip CTML | Implementasi dalam VR |
|----|------------------|--|--|---|
| | | | | penggunaan teks narasi tertulis yang berlebihan. |
| 4. | Pemantulan bunyi | Mengamati respon bunyi pada benda keras dan benda lunak | Kombinasi signaling, redudancy dan voice | Divisualisasikan speaker sebagai sumber bunyi yang menghasilkan gelombang bunyi berwarna biru menuju dinding dan dilengkapi label <i>bunyi datang</i> . Setelah gelombang bunyi mengenai dinding, divisualisasikan gelombang bunyi berwarna ungu yang bergerak kembali menuju arah sumber bunyi dan dilengkapi label <i>bunyi pantul</i> untuk membedakan arah rambat bunyi datang dan bunyi pantul. Narasi suara manusia digunakan untuk menjelaskan proses pemantulan bunyi pada permukaan keras tanpa penggunaan teks narasi tertulis yang berlebihan. |
| 5. | Evaluasi | Menjawab pertanyaan berbasis simulasi dan menarik kesimpulan dari hasil pengamatan | Kombinasi signaling, redudancy dan voice | Divisualisasikan kembali konsep pemantulan cahaya dan pemantulan bunyi dalam satu tampilan layar dengan menampilkan senter sebagai sumber cahaya, cermin sebagai bidang pantul, serta panah arah sinar datang dan sinar pantul yang dilengkapi label <i>pemantulan cahaya</i> . Selain itu, divisualisasikan speaker sebagai sumber bunyi, dinding sebagai bidang pantul, serta panah arah bunyi datang dan bunyi pantul yang dilengkapi label <i>pemantulan bunyi</i> . Narasi suara manusia digunakan untuk membantu peserta didik memahami persamaan konsep pemantulan cahaya dan bunyi tanpa penggunaan teks narasi tertulis yang berlebihan. Selanjutnya, peserta didik diberikan aktivitas menyusun kata kunci dan menentukan kesimpulan pembelajaran berdasarkan konsep yang telah dipelajari. |

Media *Virtual Reality* dalam penelitian ini dirancang melalui beberapa scene yang saling berurutan. Setiap scene memiliki fungsi tertentu untuk membantu peserta didik memahami konsep secara bertahap, mulai dari pengenalan lingkungan virtual hingga penyajian materi inti. Desain media ini juga memperhatikan prinsip CTML agar tampilan visual, teks,

audio, dan navigasi dapat mendukung proses kognitif peserta didik. Rincian desain media *Virtual Reality* disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Desain media Virtual Reality

| No | Scene VR | Deskripsi |
|----|---|---|
| 1. |  | <p>Pada tahap awal, peserta didik berada dalam ruang virtual berbentuk laboratorium dengan pemandu bernama Vina. Visualisasi menampilkan dua fenomena utama, yaitu gelombang cahaya yang berasal dari senter dan gelombang bunyi dari speaker. Perbedaan karakteristik kedua gelombang ditampilkan secara langsung melalui visualisasi arah rambat serta label “tanpa medium” pada cahaya dan “memerlukan medium” pada bunyi.</p> <p>Tahap ini berfungsi untuk membangun pemahaman awal serta mengaktifkan pengetahuan dasar peserta didik melalui perbandingan langsung dua jenis gelombang. Kegiatan diakhiri dengan kuis sederhana untuk menguji pemahaman awal.</p> |
| 2. |  | <p>Scene kedua menampilkan ruang virtual sederhana dengan objek utama berupa cermin datar. Pada sisi kiri terdapat senter sebagai sumber cahaya, bagian tengah terdapat cermin datar, dan sisi kanan terdapat representasi mata pengamat sebagai penerima cahaya. Ketika simulasi dijalankan, sinar datang divisualisasikan dalam bentuk panah berwarna merah yang bergerak dari senter menuju permukaan cermin dan dilengkapi label “sinar datang”. Setelah mengenai permukaan cermin, sinar pantul divisualisasikan sebagai panah berwarna hijau yang bergerak dari cermin menuju mata pengamat dan disertai label “sinar pantul”.</p> <p>Selain itu, ditampilkan garis normal berupa garis tegak lurus terhadap permukaan cermin. Dua sudut juga divisualisasikan untuk merepresentasikan sudut datang dan sudut pantul tanpa menampilkan nilai numerik.</p> |
| 3. |  | <p>Scene ketiga menampilkan ruang virtual yang berisi beberapa objek dengan sifat permukaan berbeda. Di bagian depan peserta didik ditampilkan empat objek utama, yaitu cermin, sendok logam, buku, dan dinding kasar.</p> <p>Pada bagian bawah layar ditampilkan dua kotak klasifikasi dengan label “permukaan halus” dan “permukaan kasar”. Selain itu, terdapat pemandu virtual yang memberikan instruksi selama aktivitas berlangsung.</p> <p>Peserta didik melakukan interaksi dengan cara menyeret setiap objek ke dalam kotak klasifikasi yang tersedia sesuai dengan kategori yang dipilih. Setiap</p> |

| No | Scene VR | Deskripsi |
|----|--|--|
| 4. |  | <p>objek dapat dipindahkan secara langsung dari posisi awal menuju kotak yang dituju.</p> |
| 5. |  | <p>Scene keempat menampilkan lingkungan virtual berupa ruang tamu sederhana dengan beberapa objek rumah tangga. Di dalam ruangan terdapat speaker sebagai sumber bunyi yang diarahkan menuju dinding sebagai permukaan pemantul, serta sofa yang berada di sekitar lingkungan. Ketika simulasi dijalankan, gelombang bunyi divisualisasikan dalam bentuk gelombang berwarna biru yang bergerak dari speaker menuju dinding dan dilengkapi label “bunyi datang”. Setelah mencapai dinding, gelombang bunyi divisualisasikan kembali dalam bentuk gelombang berwarna ungu yang bergerak dari dinding menuju arah sumber bunyi dengan label “bunyi pantul”. Pada akhir scene, ditampilkan pertanyaan interaktif terkait identifikasi bunyi datang dan bunyi pantul dengan beberapa pilihan jawaban.</p> <p>Scene kelima menampilkan kembali ruang virtual dengan nuansa laboratorium fisika seperti pada scene pertama. Pada tahap awal, tampilan ruang dibagi menjadi dua bagian. Pada bagian kiri ditampilkan visual pemantulan cahaya yang terdiri atas senter sebagai sumber cahaya, cermin sebagai bidang pantul, serta panah yang menunjukkan arah sinar datang dan sinar pantul, disertai label “pemantulan cahaya”.</p> <p>Pada bagian kanan ditampilkan visual pemantulan bunyi yang terdiri atas speaker sebagai sumber bunyi, dinding sebagai bidang pantul, serta panah yang menunjukkan arah gelombang datang dan gelombang pantul, disertai label “pemantulan bunyi”.</p> <p>Selanjutnya, peserta didik diminta untuk menentukan kesimpulan pembelajaran melalui pertanyaan yang mengarahkan pada pemahaman persamaan antara pemantulan cahaya dan bunyi. Aktivitas pada scene ini berfungsi sebagai penutup pembelajaran yang membantu peserta didik merangkum informasi serta menyusun kesimpulan berdasarkan pengalaman belajar pada seluruh rangkaian scene sebelumnya.</p> |

Validasi dan Revisi Desain

Evaluasi kelayakan VR dilakukan melalui tahap formatif yang melibatkan dua aspek utama, yaitu penilaian oleh ahli materi dan ahli media. Penilaian ahli materi mencakup aspek kelayakan isi, kelayakan bahasa, kelayakan penyajian, dan penilaian kontekstual. Penilaian ahli media mencakup aspek desain tampilan, kemanfaatan media, serta penerapan prinsip CTML. Hasil penilaian dari kedua aspek disajikan pada Tabel 4 untuk menunjukkan tingkat kelayakan VR secara keseluruhan

Tabel 4. Hasil Validasi Ahli Materi dan Media

| Validasi | Aspek | Presentase | Rata-Rata | Kategori |
|-------------|---------------------------------|------------|-----------|--------------|
| Ahli materi | Aspek kelayakan isi | 89% | 90% | Sangat Layak |
| | Aspek kelayakan bahasa | 86% | | |
| | Aspek kelayakan penyajian | 100% | | |
| Ahli Media | Aspek desain tampilan | 89% | 87% | Sangat Layak |
| | Aspek kemanfaatan media | 87% | | |
| | Aspek penerapan prinsip CTML | 87% | | |
| | Aspek Interaktivitas dan Emersi | 90% | | |

Hasil validasi menunjukkan bahwa seluruh aspek penilaian memperoleh kategori sangat baik dari para ahli. Meskipun demikian, revisi minor tetap dilakukan berdasarkan masukan ahli, yaitu penyesuaian tokoh agar menggunakan jilbab dan penyajian materi dalam VR agar lebih spesifik.

Uji Coba dan Revisi Produk

Uji coba produk dilakukan untuk menilai respons terhadap *Virtual Reality* yang dikembangkan. Hasilnya menunjukkan bahwa pendidik dan peserta didik memberikan tanggapan yang sangat positif. Pendidik menilai bahwa produk *Virtual Reality* ini membantu proses pembelajaran karena konsep fisika dapat ditampilkan secara lebih visual dan interaktif. Peserta didik juga menyatakan bahwa media virtual reality membuat konsep fisika lebih mudah dipahami karena fenomena yang dipelajari dapat diamati secara langsung. Selain itu, penggunaan virtual reality membantu peserta didik memahami hubungan antar konsep dan memperjelas materi fisika yang sebelumnya bersifat abstrak. Hasil uji coba menunjukkan bahwa media pembelajaran berbasis *virtual reality* dapat digunakan dengan baik untuk melatih pemahaman konsep peserta didik. Hasil respons terhadap *Virtual Reality* dari pendidik dan peserta didik disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil respon pendidik dan peserta didik

| Respon | Aspek | Presentase | Rata-rata | Kategori |
|----------------------|-----------------|------------|-----------|--------------|
| Respon peserta didik | Media | 89% | 90% | Sangat Layak |
| | Materi | 90% | | |
| | Tampilan Visual | 91% | | |
| Respon Pendidik | Kemanfaatan | 92% | 90% | Sangat Layak |
| | Navigasi | 90% | | |

Berdasarkan hasil uji coba yang dilakukan kepada pendidik dan peserta didik, media pembelajaran *Virtual Reality* (VR) memperoleh respon yang sangat baik. Rata-rata respon pendidik mencapai 90%, sedangkan peserta didik sebesar 90,33% dengan kategori sangat layak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa media VR yang dikembangkan sesuai digunakan dalam pembelajaran fisika karena mampu menciptakan proses pembelajaran yang lebih interaktif dan membantu peserta didik

Pembahasan

Studi ini menunjukkan bahwa pengembangan media *Virtual Reality* pada materi gelombang cahaya dan bunyi berangkat dari kebutuhan nyata peserta didik yang mengalami kesulitan dalam memahami konsep fisika. Tingginya persentase kesulitan (79%) menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik belum mampu menjelaskan fenomena gelombang secara tepat, khususnya pada aspek yang memerlukan visualisasi. Kondisi tersebut diperkuat oleh hasil angket yang menunjukkan bahwa 70% peserta didik menilai media pembelajaran yang digunakan sebelumnya kurang menarik dan belum membantu peserta didik memvisualisasikan konsep yang dipelajari. Temuan ini mengindikasikan bahwa keterbatasan visualisasi dalam pembelajaran berpotensi menghambat peserta didik dalam membangun pemahaman konseptual terhadap fenomena gelombang yang bersifat abstrak.

Penggunaan VR memungkinkan peserta didik mengamati fenomena secara langsung dalam bentuk visualisasi tiga dimensi, sehingga mempermudah pemahaman konsep yang sulit diamati melalui media konvensional, seperti gelombang cahaya dan bunyi [37]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa VR meningkatkan keterlibatan peserta didik selama proses pembelajaran dan mendorong motivasi serta minat belajar terhadap materi [38], [39]. Selain itu, penggunaan VR yang dikombinasikan dengan teori kognitif multimedia (*Cognitive Load Theory/CLT*) terbukti meningkatkan efektivitas belajar [40]. Temuan ini menegaskan bahwa VR dapat menjadi alat efektif untuk mengatasi kesulitan pemahaman konsep abstrak, dengan dukungan kerangka teori kognitif multimedia yang memperkuat pemahaman konseptual siswa.

Salah satu teori kognitif multimedia yang relevan dalam mengupayakan melatih pemahaman konsep adalah CTML. Penggunaan prinsip CTML didukung oleh penelitian Putri et al. [41] yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis *Virtual Reality* dapat membantu peserta didik memahami konsep sains melalui visualisasi yang lebih konkret. Penelitian Makransky & Mayer [30] juga menunjukkan bahwa VR dapat mendukung pemrosesan informasi visual dan verbal, meskipun efektivitasnya tetap bergantung pada desain pembelajaran yang terarah. Sejalan dengan penelitian ini, karena media *Virtual Reality* yang digunakan mampu membantu peserta didik memahami konsep melalui penyajian materi yang lebih visual, konkret, dan mudah dihubungkan dengan fenomena yang dipelajari. Pada konteks pengembangan VR ini prinsip CTML diterapkan dengan memanfaatkan prinsip *signaling*, *redundancy*, dan *voice*.

Penerapan *signaling principle* dalam media *Virtual Reality* membantu mengarahkan perhatian peserta didik pada elemen penting dalam suatu fenomena, seperti hubungan antara sudut datang dan sudut pantul. Hal ini sejalan dengan penelitian Han et.al [42] yang menyatakan bahwa *signaling* pada lingkungan *virtual reality* membantu peserta didik memusatkan perhatian pada informasi penting sehingga proses pembelajaran menjadi lebih terarah. Penanda visual yang jelas memudahkan identifikasi komponen utama sehingga mengurangi kesalahan interpretasi, hal ini sejalan dengan penelitian [32] yang menggunakan *signaling principle* untuk memfokuskan perhatian peserta didik, meskipun dengan bentuk implementasi yang berbeda.

Selain itu, penerapan *redundancy principle* melalui pembatasan teks dalam media berkontribusi dalam mengurangi beban kognitif peserta didik. Informasi yang disajikan lebih

fokus pada visualisasi fenomena yang didukung oleh narasi suara, sehingga peserta didik tidak harus memproses informasi yang sama dalam dua bentuk sekaligus. Kondisi ini memungkinkan kapasitas memori kerja digunakan secara lebih optimal untuk memahami hubungan antara konsep, bukan untuk memproses informasi yang berulang. Hal ini sejalan dengan Typke et al. [43] yang menjelaskan bahwa pengulangan informasi dalam bentuk teks, visual, dan narasi dapat menimbulkan *redundancy effect* karena peserta didik perlu memproses informasi yang sama melalui beberapa sumber. Temuan serupa juga di tunjukkan oleh Albers et al. [44] dan [45] yang menegaskan bahwa redundansi tertentu dapat meningkatkan beban kognitif dan menurunkan efektivitas belajar apabila informasi yang disajikan tidak memberi nilai tambah terhadap pemahaman peserta didik.

Voice principle juga berperan dalam mendukung efektivitas media melalui penggunaan narasi suara manusia yang menyertai visualisasi. Narasi ini membantu menjelaskan fenomena yang diamati secara langsung, sehingga peserta didik tidak hanya melihat perubahan yang terjadi, tetapi juga memahami makna dari perubahan tersebut. Kombinasi antara visualisasi dan narasi suara menciptakan pengalaman belajar yang lebih imersif dan komunikatif, yang berpotensi melatih pemahaman konsep peserta didik dalam proses pembelajaran, hal ini sejalan dengan penelitian Din [46] yang membuktikan bahwa penggunaan narasi suara manusia dalam pembelajaran multimedia tetap relevan karena dapat mendukung hasil belajar dan menurunkan beban mental peserta didik dibandingkan suara sintetis atau suara mesin. Temuan tersebut memperkuat bahwa narasi suara manusia tidak hanya berfungsi sebagai pelengkap visualisasi, tetapi juga membantu peserta didik memproses informasi secara lebih jelas, memahami fenomena yang ditampilkan, dan membangun pemahaman konsep secara lebih efektif.

Lebih lanjut, setiap scene dalam *Virtual Reality* dirancang secara berurutan untuk membangun pemahaman konsep peserta didik secara bertahap. Temuan ini sejalan dengan penelitian Grigore [47] yang menunjukkan bahwa visualisasi bertahap pada lingkungan *Virtual Reality* dapat membantu peserta didik membangun representasi konsep abstrak secara lebih sistematis. Penelitian lain juga menjelaskan bahwa penyajian informasi secara terstruktur mampu mengurangi disorientasi belajar pada lingkungan imersif sehingga peserta didik lebih mudah memfokuskan perhatian pada inti konsep yang dipelajari [48]. Pada penelitian ini, urutan scene tidak hanya berfungsi sebagai visualisasi fenomena, tetapi juga membantu peserta didik menghubungkan setiap perubahan fenomena secara konseptual.

Temuan dalam penelitian ini sejalan dengan penelitian [49] yang menunjukkan bahwa penggunaan *Virtual Reality* dalam pembelajaran fisika mampu meningkatkan kualitas visualisasi konsep abstrak. Penelitian ini memberikan kontribusi yang berbeda dengan menekankan pada integrasi prinsip *Cognitive Theory of Multimedia Learning* dalam desain media. Prinsip ini menunjukkan bahwa kelayakan media tidak hanya ditentukan oleh kecanggihan teknologi, tetapi juga oleh kesesuaian dengan cara kerja kognitif peserta didik. Media *Virtual Reality* terintegrasi CTML yang di kembangkan memberikan dampak positif terhadap pengembangan teknologi digital pembelajaran fisika yang memperhatikan proses kognitif peserta didik. Media yang dikembangkan tidak hanya menonjolkan aspek teknologi, tetapi juga mengutamakan penyajian materi yang terstruktur, visual yang relevan, serta arahan belajar yang membantu peserta didik memahami konsep fisika secara lebih sistematis

Tingginya kelayakan media dapat dikaitkan dengan karakteristik materi gelombang cahaya dan bunyi yang membutuhkan bantuan visualisasi dalam penyajiannya. Kedua materi

tersebut memuat konsep yang bersifat abstrak dan dinamis, sehingga tidak selalu mudah dipahami apabila hanya dijelaskan melalui uraian verbal atau gambar statis. Melalui lingkungan *Virtual Reality*, konsep-konsep tersebut dapat disajikan dalam bentuk yang lebih konkret, visual, dan interaktif. Integrasi prinsip CTML juga membantu penyusunan materi agar tidak hanya menarik secara tampilan, tetapi tetap terarah dan sesuai dengan alur berpikir peserta didik. Dengan demikian, penilaian kelayakan yang tinggi dapat dipahami sebagai hasil dari kesesuaian antara karakteristik materi, bentuk visualisasi yang digunakan, dan rancangan penyajian media. Media yang dikembangkan dapat menjadi rujukan dalam pengembangan media pembelajaran fisika berbasis teknologi imersif yang tidak hanya berorientasi pada inovasi digital, tetapi juga mempertimbangkan prinsip-prinsip pedagogis dan proses kognitif peserta didik.

Meskipun media yang dikembangkan menunjukkan tingkat kelayakan yang tinggi, penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan. Penelitian ini belum menguji secara langsung efektivitas media dalam meningkatkan pemahaman konsep peserta didik melalui uji eksperimen. Oleh karena itu, temuan dalam penelitian ini masih terbatas pada aspek kelayakan produk dan belum dapat digunakan untuk menyimpulkan peningkatan pemahaman konsep secara empiris. Selain itu, cakupan materi yang dikembangkan masih terbatas pada gelombang cahaya dan bunyi, sehingga generalisasi ke materi lain memerlukan kajian lebih lanjut. Keterbatasan lain terletak pada kebutuhan dukungan perangkat dan jaringan internet yang stabil dalam mengakses media *Virtual Reality*, sehingga implementasi media ini berpotensi mengalami kendala dalam lingkungan pembelajaran yang memiliki infrastruktur teknologi.

KESIMPULAN

Pengembangan media *Virtual Reality* terintegrasi prinsip *Cognitive Theory of Multimedia Learning* pada materi gelombang cahaya dan bunyi menunjukkan tingkat kelayakan yang tinggi berdasarkan penilaian ahli materi dan ahli media. Penerapan prinsip *signaling*, *redundancy*, dan *voice* dalam desain VR menghasilkan penyajian informasi yang lebih terarah, terstruktur, serta sesuai dengan karakteristik pemrosesan kognitif peserta didik. Media yang dikembangkan menyajikan visualisasi fenomena gelombang secara tiga dimensi dan interaktif, sehingga dapat menjadi alternatif media pembelajaran untuk merepresentasikan konsep gelombang cahaya dan bunyi yang bersifat abstrak. Dengan demikian, *Virtual Reality* memiliki potensi untuk digunakan sebagai media pendukung dalam pembelajaran fisika, khususnya pada materi yang memerlukan representasi visual dan interaktif. Namun, temuan penelitian ini masih terbatas pada aspek kelayakan produk berdasarkan validasi ahli dan belum mencakup pengujian efektivitas terhadap pemahaman konsep peserta didik. Oleh karena itu, kontribusi media terhadap peningkatan pemahaman konsep peserta didik belum dapat disimpulkan secara empiris dan memerlukan penelitian lanjutan.


INFORMASI PENULIS

Penulis Koresponden

Zidny Manaasika– Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);
Email: zidnymanaasika@gmail.com

Penulis

Zidny Manaasika– Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);
Email: zidnymanaasika@gmail.com

Antomi Saregar – Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);
 orcid.org/0000-0002-2652-1694

Email: antomi.saregar@radenintan.ac.id

Trimo Saputro– Program Studi Pendidikan Fisika, Universitas Islam Negeri Raden Intan Lampung (Indonesia);
Email: trimosaputro@radenintan.ac.id

KONFLIK KEPENTINGAN

"Penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan."

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. V. Dhamayanti, "Systematic Literature Review: Pengaruh Strategi Pembelajaran Inkuiri Terhadap Kemampuan Berpikir Kritis Peserta Didik," 2022.
- [2] M. I. Hasibuan, "Realizing Quality Education as a Goal of the Sustainable Development Goals (SDGs) in Indonesia," *Airlangga Development Journal*, vol. 9, no. 1, pp. 1–7, May 2025. <https://doi.org/10.20473/adj.v9i1.60296>
- [3] N. N. Faiza *et al.*, "Media Pembelajaran Abad 21: Membangun Generasi Digital yang Adaptif," *JMA*, vol. 2, pp. 3031–5220, 2024. <https://doi.org/10.62281>
- [4] T. Fitria, H. Kuswanto, W. S. B. Dwandaru, and J. Jumadi, "Perkembangan Penelitian Pendekatan STEAM pada Pembelajaran Fisika di Indonesia: A Systematic Literature Review," *Center for Science Education*, 2023. <https://doi.org/10.15408/es.v15i1.29929>
- [5] P. Widiarni, N. K. Rapi, I. W. Suastra, and K. Suma, "Studi Pendahuluan: Problematika Pembelajaran Fisika SMA," *Science: Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, vol. 5, no. 1, pp. 131–143, Feb. 2025. <https://doi.org/10.51878/science.v5i1.4430>
- [6] N. R. Nova, "Analysis Understanding of Concept in Sound Wave Materials and Light Waves in Class XI Senior High School Students Tampan Pekanbaru," *Jurnal Geliga Sains: Jurnal Pendidikan Fisika*, vol. 8, no. 1, pp. 33–41, 2020. <https://doi.org/10.31258/jgs.8.1.33-41>

- [7] F. Solehah, M. Sumo, M. F. Fuad, and F. A. Hidayat, “Analisis Percobaan Melde dalam Pembelajaran Fisika untuk Menentukan Gelombang pada Dawai: Studi Literatur,” 2024.
- [8] M. C. Wittmann, R. N. Steinberg, and E. F. Redish, “Understanding and Affecting Student Reasoning About Sound Waves,” *International Journal of Science Education*, pp. 1–23, 2020.
- [9] V. Me *et al.*, “Measuring Students’ Conceptual Understanding of Wave Optics: A Rasch Modeling Approach,” *Physical Review Physics Education Research*, vol. 15, no. 1, pp. 1–20, 2019. <https://doi.org/10.1103/PhysRevPhysEducRes.15.010115>
- [10] S. Ainsworth, “DeFT: A Conceptual Framework for Considering Learning with Multiple Representations,” *Learning and Instruction*, vol. 16, no. 3, pp. 183–198, Jun. 2006. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2006.03.001>
- [11] Y.-L. Chen, “The Effects of Virtual Reality Learning Environment on Student Cognitive and Linguistic Development,” *The Asia-Pacific Education Researcher*, vol. 25, no. 4, pp. 637–646, Aug. 2016. <https://doi.org/10.1007/s40299-016-0293-2>
- [12] Y. A. Almada, D. Puspita, and A. Susilo, “Penerapan Teknologi dan Media Pembelajaran Sejarah Berbasis Virtual Reality dalam Peningkatan Pemahaman Konseptual Siswa,” *Danadyaksa Historica*, vol. 4, no. 2, p. 67, Dec. 2024. <https://doi.org/10.32502/jdh.v4i2.8987>
- [13] I. Wohlgenannt, A. Simons, and S. Stieglitz, “Virtual Reality,” *Business & Information Systems Engineering*, vol. 62, no. 5, pp. 455–461, Oct. 2020. <https://doi.org/10.1007/s12599-020-00658-9>
- [14] Y.-S. Su, H.-W. Cheng, and C.-F. Lai, “Study of Virtual Reality Immersive Technology Enhanced Mathematics Geometry Learning,” *Frontiers in Psychology*, vol. 13, Feb. 2022. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.760418>
- [15] K.-C. Shim, J.-S. Park, H.-S. Kim, J.-H. Kim, Y.-C. Park, and H.-I. Ryu, “Application of Virtual Reality Technology in Biology Education,” *Journal of Biological Education*, vol. 37, no. 2, pp. 71–74, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655854>
- [16] R. Aliev, L. Asueva, and A. Yudina, “Enhancing Chemistry Education’s Relevance and Comprehension through Immersive Virtual Reality,” *BIO Web of Conferences*, vol. 76, p. 09006, Nov. 2023. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237609006>
- [17] F. A. Monita and J. Ikhsan, “Development Virtual Reality IPA (VR-IPA) Learning Media for Science Learning,” *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 1440, no. 1, p. 012103, Jan. 2020. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1440/1/012103>
- [18] D. M. Sari and F. Majid, “Aplikasi Virtual Reality Galery Sejarah Kabupaten Pinrang Menggunakan VR BOX 3D,” *Jurnal Sintaks Logika*, vol. 1, no. 3, pp. 132–138, Oct. 2021. <https://doi.org/10.31850/jsilog.v1i3.1041>
- [19] Y. Luo and H. Du, “Learning with Desktop Virtual Reality: Changes and Interrelationship of Self-Efficacy, Goal Orientation, Technology Acceptance and Learning Behavior,” *Smart Learning Environments*, vol. 9, no. 22, 2022. <https://doi.org/10.1186/s40561-022-00203-z>
- [20] M. W. Bhatt *et al.*, “Enhancing Engineering Student Engagement and Learning Outcomes through WebVR and Wearable Sensor Integration with Immersive Learning,” *Discover Sustainability*, vol. 9, no. 22, 2025. <https://doi.org/10.1007/s43621-025-01436-x>

- [21] D. Tsurulnikov, C. E. Mullarkey, C. Suart, R. Abdullah, and F. Vulcu, “Game on: Immersive Virtual Laboratory Simulation Improves Student Learning Outcomes and Motivation,” *FEBS Open Bio*, vol. 13, pp. 396–407, 2023. <https://doi.org/10.1002/2211-5463.13567>
- [22] N. Huda, L. Elyana, R. Setiawan, R. Dwi, and A. Yuliantri, “The Effectiveness of Virtual Reality Media on Student Learning Outcomes: A Meta-Analysis,” *Jurnal Pembangunan Pendidikan: Fondasi dan Aplikasi*, vol. 12, no. 1, pp. 1–17, 2024. <https://doi.org/10.21831/jppfa.v12i1.67764>
- [23] M. Conrad, D. Kablitz, and S. Schumann, “Learning Effectiveness of Immersive Virtual Reality in Education and Training: A Systematic Review of Findings,” *Computers & Education: X Reality*, vol. 4, p. 100053, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cexr.2024.100053>
- [24] P. Masopust, J. Kohout, D. Šilhánek, L. Šmíd, and M. Randa, “Virtual Reality in (Physics) Education: Impact on Critical Spots,” in *Lecture Notes in Networks and Systems*, pp. 209–221, 2025. https://doi.org/10.1007/978-3-031-81261-3_16
- [25] J. Radianti, T. A. Majchrzak, J. Fromm, and I. Wohlgenannt, “A Systematic Review of Immersive Virtual Reality Applications for Higher Education: Design Elements, Lessons Learned, and Research Agenda,” *Computers & Education*, vol. 147, p. 103778, Apr. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- [26] R. E. Mayer, “Incorporating Motivation into Multimedia Learning,” *Learning and Instruction*, vol. 29, pp. 171–173, Feb. 2014. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2013.04.003>
- [27] R. Moreno and R. Mayer, “Interactive Multimodal Learning Environments,” *Educational Psychology Review*, vol. 19, no. 3, pp. 309–326, Sep. 2015. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-2>
- [28] R. E. Mayer, “The Past, Present, and Future of the Cognitive Theory of Multimedia Learning,” *Educational Psychology Review*, vol. 36, no. 1, p. 8, Mar. 2024. <https://doi.org/10.1007/s10648-023-09842-1>
- [29] S. W. Muhammad Roy Aziz Haryana, D. Achjari, and E. Nahartyo, “Virtual Reality Learning Media with Innovative Learning Materials to Enhance Individual Learning Outcomes Based on Cognitive Load Theory,” *The International Journal of Management Education*, vol. 20, no. 3, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2022.100657>
- [30] G. Makransky and G. B. Petersen, “The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): A Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality,” *Educational Psychology Review*, vol. 33, no. 3, pp. 937–958, Sep. 2021. <https://doi.org/10.1007/s10648-020-09586-2>
- [31] S. Theimer, “Expanding Libraries’ Application of Mayer’s Cognitive Theory of Multimedia Learning,” *Library Management*, vol. 40, no. 6/7, pp. 478–482, Aug. 2019. <https://doi.org/10.1108/LM-08-2018-0067>
- [32] W.-S. Wang, M. Pedaste, and Y.-M. Huang, “Enhancing Higher-Order Thinking and Hands-On Performance in VR Learning Environments Through CTML-Based Feedback Design,” pp. 373–381, 2026. https://doi.org/10.1007/978-3-031-98185-2_39

- [33] M. Barak and Y. J. Dori, “Enhancing Higher Order Thinking Skills Among Inservice Science Teachers Via Embedded Assessment,” *Journal of Science Teacher Education*, vol. 20, no. 5, pp. 459–474, Oct. 2009. <https://doi.org/10.1007/s10972-009-9141-z>
- [34] A. S. Budi *et al.*, “Virtual Reality Technology in Physics Learning: Possibility, Trend, and Tools,” *Jurnal Penelitian & Pengembangan Pendidikan Fisika*, vol. 7, no. 1, pp. 23–34, Jul. 2021. <https://doi.org/10.21009/1.07103>
- [35] W.-S. Wang, H.-Y. Lee, C.-J. Lin, P.-H. Li, and Y.-M. Huang, “Enhancing Students’ Learning Outcomes in Self-Regulated Virtual Reality Learning Environment with Learning Aid Mechanisms,” *British Journal of Educational Technology*, vol. 56, no. 1, 2024. <https://doi.org/10.1111/bjet.13512>
- [36] M. D. Gall, J. P. Gall, and W. R. Borg, *Educational Research: An Introduction*, 2003.
- [37] A. R. Utami, “Immersive Technologies (AR/VR) in Science Education to Enhance Conceptual Understanding, Spatial Thinking, and Learning Engagement,” *Science Education Journal*, vol. 1, no. 4, pp. 29–36, 2024. <https://doi.org/10.62872/sej.v1i4.561>
- [38] I. Azzam, K. El Breidi, and F. Breidi, “Virtual Reality in Fluid Power Education: Impact on Students’ Perceived Learning Experience and Engagement,” *Education Sciences*, vol. 14, 2024. <https://doi.org/10.3390/educsci14070764>
- [39] M. Portuguese-Castro, “Beyond Traditional Classrooms: Comparing Virtual Reality Applications and Their Influence on Students’ Motivation,” *Education Sciences*, vol. 14, 2024. <https://doi.org/10.3390/educsci14090963>
- [40] P. Albus and T. Seufert, “The Modality Effect Reverses in a Virtual Reality Learning Environment and Influences Cognitive Load,” *Instructional Science*, pp. 545–570, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11251-022-09611-7>
- [41] V. A. Putri, P. D. Sundari, F. Mufit, and W. S. Dewi, “Analysis of Students’ Physics Conceptual Understanding Using Five-Tier Multiple Choice Questions: The Newton’s Law of Motion Context,” *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 10, no. 5, pp. 2275–2285, 2024. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v10i5.5847>
- [42] J. Han, G. Liu, and Q. Zheng, “Prior Knowledge as a Moderator Between Signaling and Learning Performance in Immersive Virtual Reality Laboratories,” *Frontiers in Psychology*, pp. 1–12, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1118174>
- [43] M. Trypke, F. Stebner, J. Wirth, and J. Hanham, “Two Types of Redundancy in Multimedia Learning: A Literature Review,” *Frontiers in Psychology*, pp. 1–17, 2023. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1148035>
- [44] F. Albers, M. Trypke, F. Stebner, J. Wirth, and J. L. Plass, “Different Types of Redundancy and Their Effect on Learning and Cognitive Load,” *British Journal of Educational Psychology*, vol. 93, no. 2, pp. 339–352, 2023. <https://doi.org/10.1111/bjep.12592>
- [45] M. Trypke, F. Stebner, and J. Wirth, “The More, the Better? Exploring the Effects of Modal and Codal Redundancy on Learning and Cognitive Load: An Experimental Study,” *Education Sciences*, 2024. <https://doi.org/10.3390/educsci14080872>
- [46] N. Din, “The Voice Effect in Multimedia Instruction Revisited: Does It Still Exist?,” *Journal of Pedagogical Research*, vol. 6, no. 3, pp. 17–26, 2022.

- [47] P. Grigore, "Evaluating the Impact of Virtual Reality on Student Engagement and Conceptual Understanding in Engineering Education," *Next Research*, vol. 3, p. 101172, 2026. <https://doi.org/10.1016/j.nexres.2025.101172>
- [48] C. C. W. W. Y. Huang, "Designing Adaptive Feedback for Hands-On Learning in VR: Feedback Intervention Theory," *Education and Information Technologies*, 2026.
- [49] P. Sip, M. Kozłowska, M. Ochowiak, D. Czysz, P. Daroszewski, and P. Lisiński, "VR Head Tracking as a Useful Tool for the Qualitative Assessment of Cervical Spine Movement," *Sensors*, vol. 25, no. 7, p. 2172, Mar. 2025. <https://doi.org/10.3390/s25072172>