



# Alotrop

## Jurnal Pendidikan dan Ilmu Kimia

p-ISSN 2252-8075 e-ISSN 2615-2819

---

### PEMANFAATAN *AUGMENTED REALITY (AR)* DAN *VIRTUAL REALITY (VR)* DALAM PEMBELAJARAN KIMIA MENGGUNAKAN METODE *INTEGRATIVE LITERATUR REVIEW*

---

Mulyati Limbong<sup>1\*</sup> Chusnur Rahmi<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Islam Negeri Ar- Raniry, Indonesia

\*email: 220208023@student.ar-raniry.ac.id

---

#### ABSTRACT

*[The Use of Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) in Chemistry Learning: An Integrative Literature Review]* The trend of utilizing Augmented Reality (AR) and Virtual Reality (VR) in chemistry education has increased significantly in recent years, particularly in supporting the visualization of abstract and microscopic chemical concepts. Although studies on AR and VR in chemistry learning continue to grow, comprehensive reviews examining the utilization trends and synergy of these two technologies remain limited, especially at the secondary school level. Therefore, this study aims to analyze the trends in the utilization of AR and VR in chemistry education and identify the chemistry topics that most frequently employ these technologies. This study employed the Integrative Literature Review (ILR) method, which involved problem formulation, literature searching, article selection and evaluation, data analysis, and synthesis of findings. The data sources were obtained from articles published in nationally accredited journals (Sinta 1–4) and reputable international journals with a Digital Object Identifier (DOI) between 2020 and 2026. The search process identified 78 articles, which were subsequently screened to 42 articles eligible for further evaluation, resulting in 20 articles that met all inclusion criteria for analysis. The findings revealed that AR-related studies dominated the literature with 50%, while VR studies and integrated AR–VR studies each accounted for 25%. The chemistry topics most frequently utilizing AR and VR were atomic structure and virtual laboratory practice, each representing 17.65% of the reviewed studies. Overall, AR and VR were found to enhance concept visualization, conceptual understanding, learning motivation, student engagement, and chemistry learning outcomes. Therefore, AR and VR have considerable potential as instructional media to support more effective and meaningful chemistry learning. However, further studies are needed to investigate the integration of these two technologies across various chemistry learning contexts.

**Keywords:** *Augmented Reality, Virtual Reality, Chemistry Learning, Integrative Literature Review.*

#### ABSTRAK

Tren pemanfaatan teknologi Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR) dalam pembelajaran kimia terus meningkat dalam beberapa tahun terakhir, terutama untuk membantu visualisasi konsep-konsep yang bersifat abstrak dan mikroskopis. Meskipun penelitian mengenai AR maupun VR dalam pembelajaran kimia terus meningkat, kajian yang membahas



secara komprehensif tren pemanfaatan serta sinergi kedua teknologi tersebut masih terbatas, khususnya pada jenjang sekolah menengah. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis tren pemanfaatan AR dan VR dalam pembelajaran kimia serta mengidentifikasi materi kimia yang paling banyak menerapkan kedua teknologi tersebut. Penelitian ini menggunakan metode Integrative Literature Review (ILR) dengan tahapan perumusan masalah, pencarian literatur, seleksi dan evaluasi artikel, analisis data, serta sintesis hasil. Sumber data diperoleh dari artikel yang dipublikasikan pada jurnal nasional terakreditasi Sinta 1–4 dan jurnal internasional bereputasi yang memiliki DOI (Digital Object Identifier) pada rentang tahun 2020–2026. Hasil pencarian memperoleh 78 artikel, kemudian diseleksi menjadi 42 artikel yang memenuhi tahap evaluasi, dan akhirnya diperoleh 20 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi untuk dianalisis. Hasil kajian menunjukkan bahwa penelitian mengenai AR mendominasi dengan persentase 50%, sedangkan VR dan integrasi AR–VR masing-masing sebesar 25%. Materi yang paling banyak memanfaatkan teknologi AR dan VR adalah struktur atom dan praktikum laboratorium virtual dengan persentase masing-masing 17,65%. Secara umum, AR dan VR terbukti mampu meningkatkan visualisasi konsep, pemahaman materi, motivasi belajar, keterlibatan peserta didik, serta hasil belajar kimia. Dengan demikian, AR dan VR memiliki potensi besar sebagai media pembelajaran yang mendukung pembelajaran kimia yang lebih efektif dan bermakna, meskipun masih diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai integrasi kedua teknologi tersebut dalam berbagai pembelajaran kimia.

**Kata kunci:** *Augmented Reality, Virtual Reality, pembelajaran kimia, Integrative Literature Review*

## PENDAHULUAN

Teknologi Augmented Reality (AR) dan Virtual Reality (VR) telah berkembang berkat kemajuan dalam grafis komputer sejak abad ke – 20 dan mulai dikenal luas pada awal 1990 – an, karena adanya permintaan yang semakin tinggi untuk simulasi digital. AR adalah teknologi yang menyatukan dunia nyata dengan objek virtual tiga dimensi secara langsung, sementara VR menciptakan lingkungan buatan yang sangat mirip dengan kenyataan dan memungkinkan pengguna untuk berinteraksi seolah – olah mereka berada di dunia yang nyata [1], dengan semakin modern nya AR dan VR semakin sering ditemukan pada bidang pendidikan. Kedua teknologi ini menawarkan cara baru dalam proses belajar karena mampu memberikan visualisasi yang interaktif, simulasi, dan pengalaman belajar yang didasari pada eksplorasi atau partisipasi aktif yang sulit dicapai dengan metode pembelajaran konvensional [2].

Pembelajaran kimia menunjukkan bahwa AR dan VR berperan sebagai alat bantu visual yang membantu menghubungkan konsep abstrak dengan pengalaman langsung. AR memungkinkan peserta didik melihat struktur molekul atau reaksi kimia secara langsung, sementara VR memungkinkan siswa melatih kegiatan di laboratorium virtual tanpa khawatir pada keterbatasan alat dan resiko keselamatan. Dengan demikian, AR dan VR tidak hanya berfungsi sebagai alat bantu belajar, tetapi juga sebagai metode belajar yang mudah dipahami [3]. AR dan VR adalah dua teknologi yang semakin populer untuk mendukung pembelajaran yang lebih mudah dipahami. AR memungkinkan penambahan objek virtual ke dunia nyata [4], Sementara VR menciptakan lingkungan simulasi yang sepenuhnya virtual [5].

Sejumlah penelitian membuktikan relevansi pemanfaatn AR dan VR dalam

pembelajaran kimia. Hal ini sejalan dengan temuan yang menunjukkan bahwa platform berbasis AR dapat meningkatkan belajar melalui visualisasi konsep yang lebih realistis [6]. AR adalah sebuah konsep penggabungan dunia maya dengan dunia nyata yang menghasilkan informasi yang memiliki batas tipis, sehingga membuat informasi tersebut dapat dipahami dan memberikan gambaran nyata bagi peserta didik. AR dapat digunakan untuk mendukung pembelajaran sebagai media penyampai materi [7]. Seiring dengan meningkatnya pemanfaatan teknologi dalam pendidikan, pengembangan media pembelajaran berbasis AR menjadi salah satu upaya untuk memperbaiki proses belajar mengajar. Penelitian menunjukkan bahwa media berbasis AR tersebut dinilai valid, praktis, dan mampu meningkatkan motivasi serta pemahaman peserta didik terhadap konsep yang sulit divisualisasikan [8]. Selanjutnya, hasil tinjauan sistematis memperlihatkan bahwa penerapan AR dalam pembelajaran kimia organik memberikan peningkatan yang memiliki pengaruh nyata terhadap pemahaman konsep peserta didik [9]. Selain itu, laboratorium berbasis AR terbukti efektif dalam membantu peserta didik memahami konsep kimia dan melaksanakan simulasi penelitian dengan pengalaman yang menyerupai kondisi nyata [10]. AR dapat digunakan dalam berbagai mata pelajaran, termasuk kimia seperti pada materi pengenalan alat-alat laboratorium. Alat-alat laboratorium kimia memiliki berbagai bentuk dan kegunaan yang harus dipahami dengan baik oleh siswa untuk digunakan secara benar dan aman, dengan menggunakan media AR, siswa dapat melihat model tiga dimensi alat-

alat laboratorium dan memahami cara penggunaannya dalam konteks yang lebih interaktif dan dapat mengurangi resiko kesalahan penggunaan alat serta dapat meningkatkan keselamatan kerja di laboratorium. [11].

Adapun pada penerapan VR, ditemukan bahwa teknologi ini efektif dalam memvisualisasikan atom dan molekul yang kompleks serta sulit digambarkan secara konvensional [10], selain itu VR juga dapat berfungsi sebagai media persiapan praktikum yang efektif. VR memiliki potensi besar sebagai media pembelajaran terutama dalam pembelajaran jarak jauh, kondisi keterbatasan akses laboratorium, serta penggunaan VR dapat menjadi pelengkap laboratorium konvensional untuk meningkatkan kesiapan dan pengalaman belajar [12]. Laboratorium VR juga terbukti memberikan manfaat bagi peserta didik sebelum melaksanakan eksperimen secara langsung, terutama dalam mempelajari prosedur praktikum [13]. Temuan serupa juga menunjukkan bahwa laboratorium virtual berbasis VR dapat menurunkan kecemasan peserta didik serta meningkatkan self-efficacy, minat, dan konsep diri saat melakukan eksperimen [14]. Teknologi VR memberikan pendekatan baru dalam pembelajaran kimia dengan menghadirkan simulasi eksperimen yang realistis dan mudah dipahami oleh peserta didik. Simulasi eksperimen kimia melalui VR dapat menjadi alternatif yang aman dan efisien, sekaligus mengurangi hambatan teknis serta resiko keselamatan dalam kegiatan praktikum [15]. Sesuai dengan perkembangan teknologi pendidikan, VR juga dikemukakan mampu meningkatkan hasil belajar, meningkatkan keterbatasan siswa, serta memudahkan pemahaman terhadap

konsep yang sulit [16]. Melalui penerapan VR, peserta didik dapat merasakan pengalaman belajar yang lebih imersif secara positif memengaruhi keterampilan dan hasil belajar mereka [17].

Perkembangan teknologi digital telah mendorong meningkatnya penelitian mengenai publikasi terkait AR dan VR yang mencerminkan tingginya perhatian peneliti terhadap pemanfaatan teknologi dalam pembelajaran kimia. Tren penelitian didominasi oleh pengembangan media pembelajaran interaktif, peningkatan keterlibatan peserta didik, serta penciptaan pengalaman belajar yang lebih bermakna dan berorientasi pada pengalaman nyata. [18]. Temuan tersebut menunjukkan bahwa AR dan VR tidak hanya berperan sebagai inovasi teknologi, tetapi juga sebagai alternatif media pembelajaran yang mampu mendukung proses belajar yang lebih melibatkan peserta didik secara aktif. Oleh karena itu, pemanfaatan AR dan VR terus berkembang dan berpotensi menjadi salah satu pendekatan yang relevan dalam pembelajaran kimia, terutama untuk membantu visualisasi konsep-konsep yang bersifat abstrak dan mikroskopis

Namun demikian, masih terdapat celah penelitian yang membuat kajian ini menarik untuk dilakukan. Beberapa tahun terakhir menunjukkan tren meningkatnya penggunaan AR dan VR dalam pembelajaran kimia. Meskipun begitu, penelitian yang mengkaji secara mendalam sinergi peran keduanya dalam pembelajaran kimia masih terbatas, terutama pada konteks sekolah menengah. Oleh karena itu, dengan menggunakan metode *Integratif Literatur Review* (ILR), tulisan ini berupaya merangkum berbagai hasil

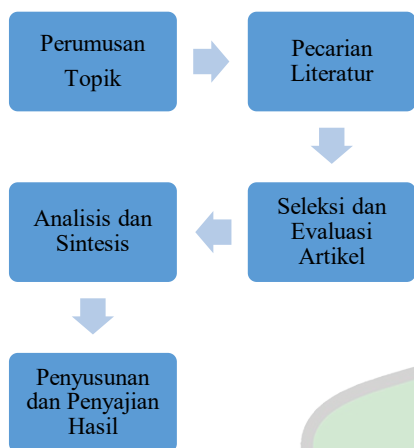
penelitian dalam kurun waktu enam tahun terakhir untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tren pemanfaatan teknologi AR dan VR dalam pembelajaran kimia. Hasil kajian ini diharapkan dapat menjadi rujukan ilmiah yang berguna pada peneliti, pendidik, serta pengembang teknologi pendidikan dalam mengoptimalkan penerapan media pembelajaran berbasis realitas digital di masa depan.

## METODE PENELITIAN

Tulisan ini disusun menggunakan metode ILR yaitu suatu pendekatan yang mengelompokkan, menggabungkan hasil dari berbagai jenis penelitian, menyimpulkan temuan dan memberi arah penelitian selanjutnya. Sehingga dapat memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai pemanfaatan AR dan VR dalam pembelajaran kimia.

Pendekatan ILR memungkinkan peneliti untuk melampaui analisis dan sintesis temuan penelitian primer dengan menghasilkan wawasan baru serta memberikan arah bagi penelitian selanjutnya. Pendekatan ini mengintegrasikan temuan dari berbagai metodologi penelitian, termasuk kualitatif, kuantitatif dan metode campuran, sehingga mampu menyajikan gambaran yang lebih holistik. Pendekatan ILR memungkinkan peneliti untuk melampaui analisis dan sintesis temuan penelitian primer dengan menghasilkan wawasan baru serta memberikan arah bagi penelitian selanjutnya. Pendekatan ini mengintegrasikan temuan dari berbagai metodologi penelitian, termasuk kualitatif, kuantitatif dan metode campuran, sehingga mampu menyajikan gambaran yang lebih holistik mengenai topik yang dikaji. [19]. Adapun langkah

– langkah ILR yang digunakan dalam tulisan ini sebagai berikut:



**Gambar 1. Tahapan penelitian ILR**

Pelaksanaan penelitian dilakukan dengan mengikuti tahapan integrative review yang dikemukakan oleh Amanda M. Kutcher dan Vanessa LeBaron (2022). Tahapan tersebut meliputi perumusan topik atau pertanyaan penelitian, pencarian literatur, seleksi dan evaluasi artikel, analisis data, serta penyusunan hasil kajian [20].

menggambarkan perkembangan *tren* pemanfaatan teknologi AR dan VR dalam pembelajaran kimia.

Langkah berikut melakukan pencarian literatur. Data yang diambil untuk keperluan review ini berasal dari Artikel yang digunakan dalam penelitian ini merupakan artikel penelitian yang diterbitkan pada jurnal ilmiah nasional terakreditasi sinta 1 – 4 maupun jurnal internasional bereputasi, memiliki DOI (*Digital Object Identifier*), dengan topik pemanfaatan AR dan VR dalam pembelajaran kimia tingkat SMA, serta dipublikasikan pada rentang tahun 2020–2026. Proses pencarian dilakukan menggunakan kata kunci *augmented reality in chemistry education*, *virtual reality in chemistry learning*, serta AR dan VR *tren pemanfaatan*. Artikel yang dipilih merupakan publikasi ilmiah yang terbit pada rentang tahun 2020 – 2026, sehingga kajian yang dilakukan dapat menggambarkan perkembangan penelitian terbaru dalam bidang tersebut.

#### 1. Data Sumber dan Strategi Pencarian.

Tulisan ini diawali dengan perumusan topik dan pertanyaan penelitian sebagai dasar dalam proses kajian literatur. Fokus penelitian diarahkan pada pemanfaatan teknologi AR dan VR dalam pembelajaran kimia. Berdasarkan fokus tersebut, penelitian ini merumuskan dua pertanyaan penelitian, diantaranya; Bagaimana tren pemanfaatan teknologi AR dan VR dalam pembelajaran kimia berdasarkan penelitian yang telah dipublikasikan? dan Bagaimana perkembangan tren pemanfaatan teknologi AR dan VR dalam pembelajaran kimia dari berbagai penelitian yang telah dilakukan? Kedua pertanyaan tersebut bertujuan untuk

**Tabel 1. Kriteria Inklusi**

| Kriteria Inklusi               | Penjelasan                                                                       |
|--------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| Tahun                          | 2020-2026                                                                        |
| Publikasi                      | Pembelajaran kimia.                                                              |
| Bidang Kajian                  |                                                                                  |
| Sagmentasi                     | Pada sekolah menengah atas                                                       |
| Klasifikasi Artikel dan Jurnal | Jurnal nasional terakreditasi sinta 1 – 4 dan jurnal internasional terindeks DOI |

## 2. Seleksi dan Evaluasi Artikel

Artikel yang telah memenuhi kriteria seleksi kemudian dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi temuan – temuan utama terkait tren pemanfaatan penelitian, bentuk implementasi teknologi, serta dampaknya terhadap pembelajaran kimia. Hasil dari berbagai penelitian tersebut selanjutnya disintesis untuk menemukan pola, persamaan, serta kontribusi teknologi AR dan VR dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kimia.

## 3. Analisis dan Sintesis

Pada tahap ini dilakukan proses penyaringan artikel berdasarkan kriteria inklusi, yaitu artikel yang membahas penggunaan AR atau VR dalam pembelajaran kimia, diterbitkan pada jurnal ilmiah, serta memiliki relevansi langsung dengan topik penelitian. Artikel yang tidak berkaitan dengan pembelajaran kimia atau tidak membahas pemanfaatan teknologi AR maupun VR dieliminasi dari proses analisis.

## 4. Penyusunan dan Penyajian Hasil

Tahap terakhir adalah penyusunan dan penyajian hasil kajian literatur. Pada tahap ini peneliti menyusun hasil analisis dalam bentuk pembahasan yang sistematis mengenai tren pemanfaatan AR dan VR dalam

pembelajaran kimia serta manfaatnya bagi proses pembelajaran. Penyajian hasil tersebut bertujuan memberikan gambaran yang komprehensif mengenai perkembangan penelitian pemanfaatan teknologi AR dan VR dalam pembelajaran kimia.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Artikel AR dalam pembelajaran kimia

Berbagai penelitian terkait penerapan AR dalam pembelajaran kimia telah menunjukkan kontribusi positif terhadap peningkatan kualitas pembelajaran. Teknologi ini memungkinkan peserta didik memvisualisasikan struktur, proses, dan fenomena kimia yang sulit diamati secara langsung, sehingga dapat membantu mengurangi miskonsepsi dan meningkatkan pemahaman konsep. Untuk mempermudah pemahaman terhadap temuan-temuan penelitian yang telah dianalisis, data hasil kajian disajikan secara sistematis dalam bentuk tabel berikut.

**Tabel 2.** Artikel AR dalam Pembelajaran Kimia (2020–2026).

| Nama                                                                                                  | Tahun | Fokus Kajian                                                                                                               | Metode                                             | Ref. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|------|
| Ruiz Cerrillo, Salvador                                                                               | 2020  | Mengevaluasi penggunaan AR dalam pembelajaran kimia organik pada siswa SMA                                                 | <i>Mixed Method</i> (metode campuran).             | [21] |
| Ningrum, Vita<br>Fitria<br>Sumarni, Woro<br>Cahyono, Edy                                              | 2021  | Mengembangkan media pembelajaran berbasis AR untuk meningkatkan kemampuan multirepresentasi peserta didik dalam kimia      | <i>Research and Development</i> (R&D)              | [22] |
| Tarng, W.,<br>Tseng, Y.-C., &<br>Ou, K.-L.                                                            | 2022  | Pengembangan media AR untuk meningkatkan pemahaman konsep kimia melalui eksperimen virtual dan visualisasi submikroskopik. | Kuasi eksperimen ( <i>experimental research</i> ). | [23] |
| Pratama, M<br>Sindy Carolin.<br>Erlina, Erlina.<br>Ulfah, Maria.<br>Enawaty, Eny.<br>Williams, Dylan. | 2022  | Meninjau penggunaan AR dalam pendidikan kimia.                                                                             | <i>Research and Development</i> (R&D)              | [24] |
| Fombona-Pascual, Alba<br>Fombona, Javier<br>Vicente, Rubén                                            | 2022  | Meninjau penggunaan AR untuk visualisasi dan manipulasi struktur kimia 3D dalam pembelajaran dan penelitian kimia.         | <i>Literature Review</i>                           | [9]  |
| Khairani, Rifki<br>Nomizar<br>Prodjosantoso,<br>A. K.                                                 | 2023  | Mengkaji penerapan AR dalam pembelajaran kimia dan mengelompokkan konsep-konsep kimia yang telah diajarkan menggunakan AR  | Systematic Review                                  | [6]  |

|                                                                                                 |      |                                                                                                                                           |                                               |      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------|
| Cahyana, Ucu<br>Luhukay, Jack<br>Roland<br>Lestari, Ika<br>Irwanto, Irwanto<br>Suroso, Jarot S. | 2023 | Menganalisis efektivitas <i>Mobile Game-Based Learning</i> dengan <i>Augmented Reality</i> (ARGBL)                                        | Kuasi eksperimen (Quasi-Experimental Design). | [25] |
| Akbar, Jakub<br>Saddam<br>Djakariah,<br>Djakariah                                               | 2024 | Menganalisis efektivitas penggunaan media pembelajaran berbasis AR                                                                        | Systematic Literature Review (SLR)            | [26] |
| Ribič, Luka<br>Devetak, Iztok                                                                   | 2025 | Menelaah penggunaan AR dalam membantu pemahaman representasi kimia triplet (makroskopik, submikroskopik, dan simbolik)                    | Systematic Literature Review                  | [27] |
| Prasetya, Cyndi.<br>Qumarani, Yara<br>Wahyuni, Naila<br>Fahira, Nazihan                         | 2025 | Mengembangkan modul <i>Green Chemistry</i> berbasis Sustainable <i>Project-Based Learning</i> (S-PjBL) yang dipadukan dengan teknologi AR | <i>Research and Development</i> (R&D).        | [28] |
| Laila, Erni<br>Atun, Sri                                                                        | 2026 | Mengkaji secara sistematis 24 publikasi periode 2015 – 2024 mengenai penerapan AR dalam pembelajaran kimia                                | <i>Systematic Literature Review</i>           | [29] |

Berdasarkan data pada tabel tersebut, dapat dilihat bahwa penggunaan teknologi AR memberikan kontribusi positif dalam proses pembelajaran kimia, terutama dalam membantu visualisasi konsep, meningkatkan keterlibatan peserta didik, serta mendukung pemahaman materi.

dilakukan identifikasi dan analisis terhadap artikel-artikel penelitian yang diterbitkan pada periode 2020–2026. Artikel yang terpilih dianalisis berdasarkan fokus kajian dan metode penelitian yang digunakan. Hasil identifikasi tersebut disajikan pada Tabel 3.

### Artikel VR dalam Pembelajaran Kimia

Untuk memperoleh gambaran mengenai pemanfaatan teknologi Virtual Reality (VR) dalam pembelajaran kimia,

**Tabel 3.** Artikel VR dalam Pembelajaran Kimia (2020–2026)

| Nama/ Judul                                                                    | Tahun | Fokus Kajian                                                                                                                                                        | Metode                                                                                 | Ref. |
|--------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Lin, Chia-Yin<br>Wu, Hsin-Kai                                                  | 2021  | Pengaruh visualisasi terhadap pemahaman konsep elektrokimia dan motivasi belajar kimia.                                                                             | <i>Quasi eksperimen</i> (VGEM).                                                        | [30] |
| Nisa, Ainun<br>Dwiningsih,<br>Kusumawati                                       | 2021  | Menganalisis peningkatan hasil belajar peserta didik pada materi geometri molekul melalui penggunaan media visualisasi berbasis <i>Mobile Virtual Reality</i> (MVR) | Kuantitatif pre-eksperimental dengan desain <i>One Group Pretest–Posttest Design</i> . | [31] |
| Laricheva, E. N.,<br>& Ilikchyan, A.                                           | 2023  | Pengaruh Virtual Reality terhadap pembelajaran kimia umum pada mahasiswa dengan kemampuan visual-spasial rendah.                                                    | Eksperimen kuasi ( <i>quasi-experimental</i> )                                         | [32] |
| Qorbani, Sam<br>Dalili, Shadi<br>Arya, Ali<br>Joslin,<br>Christopher           | 2024  | Efektivitas VR imersif pada pembelajaran kimia.                                                                                                                     | <i>Eksperimen</i> berbasis kurikulum.                                                  | [33] |
| Irwanto, Irwanto<br>Lintangnicita,<br>Tiranika<br>Cahyana, Ucu<br>Cha, Jeongho | 2025  | Pengaruh VR imersif terhadap kreativitas dan hasil belajar kimia.                                                                                                   | <i>Quasi eksperimen pretest-posttest</i> .                                             | [34] |

Berdasarkan data pada tabel tersebut, dapat dilihat bahwa penggunaan teknologi AR memberikan kontribusi positif dalam proses pembelajaran kimia, terutama dalam membantu visualisasi konsep, meningkatkan keterlibatan peserta didik, serta mendukung pemahaman materi yang lebih mudah dipahami.

#### Artikel AR dan VR dalam pembelajaran kimia

Selanjutnya terdapat pula sejumlah penelitian yang mengkaji tren pemanfaatan integrasi AR VR secara bersamaan dalam pembelajaran kimia. Ringkasan artikel yang dianalisis disajikan pada Tabel 4.

**Tabel 4.** Artikel AR dan VR dalam Pembelajaran Kimia (2020–2026)

| Nama/ Judul                                                                                                       | Tahun | Fokus Kajian                                                                                                                                                                                | Metode                                                                                                 | Ref. |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Amirbekova,<br>Elmira<br>Shertayeva,<br>Nailya<br>Mironova,<br>Ekaterina                                          | 2024  | Efektivitas VR dan AR berbasis metaverse dalam pembelajaran kimia.                                                                                                                          | <i>Experimental research design.</i>                                                                   | [12] |
| Falah, Sayed A A<br>Ahmady<br>Abdul, Sayed<br>Falah, Aziz<br>Ahmady<br>Fajr, Rohullah<br>Ali, Sayed<br>Sadat, Aqa | 2024  | Menganalisis dampak serta efektivitas penggunaan VR dan AR dalam pendidikan kimia pada tingkat sekolah menengah dan perguruan tinggi, termasuk manfaat dan tantangannya.                    | <i>Systematic Literature Review</i>                                                                    | [35] |
| JoronaValona,<br>Rasamimanana<br>Rohaeti, Eli<br>Laksono, E. W.<br>Anjamampionon<br>a, N. A                       | 2025  | Mengkaji integrasi <i>Project-Based Learning</i> (PjBL) dengan VR dan AR dalam pembelajaran kimia serta pengaruhnya terhadap pemahaman konsep, motivasi, dan keterlibatan peserta didik.    | <i>Systematic Literature Review.</i>                                                                   | [36] |
| Paembonan,<br>Tiara Lestari<br>Dumanaw,<br>Varisky Abraham                                                        | 2026  | Menganalisis tren, karakteristik, dan arah pengembangan media pembelajaran kimia berbasis AR dan VR yang terintegrasi etnosains di Indonesia.                                               | <i>Systematic Literature Review.</i>                                                                   | [37] |
| Naufal<br>Muhammad<br>Kautsar &<br>Haryono                                                                        | 2025  | Tren pengembangan media AR-VR dalam pembelajaran IPA, meliputi tren publikasi, dan kolaborasi peneliti, analisis sitasi, kata kunci, dan peluang pengembangan AR-VR dalam pendidikan sains. | Analisis <i>bibliometrik (Bibliometric Study)</i> menggunakan <i>VOSviewer</i> dan <i>Bibliometrix</i> | [17] |

Berdasarkan tabel tersebut, dapat diketahui bahwa integrasi teknologi AR dan VR memberikan peluang besar dalam mengembangkan media pembelajaran kimia yang lebih inovatif, serta mampu meningkatkan motivasi dan pemahaman belajar peserta didik. Seleksi dilakukan berdasarkan kesesuaian topik, jenjang pendidikan SMA, keberadaan DOI, tahun publikasi, serta relevansi terhadap tren pemanfaatan AR dan VR dalam pembelajaran kimia.

Pada tahap ini dilakukan proses penyaringan artikel berdasarkan kriteria inklusi yang telah ditetapkan. Dari hasil pencarian literatur diperoleh sebanyak 77 artikel yang relevan dengan kata kunci penelitian. Hasil seleksi awal menunjukkan bahwa 37 artikel memenuhi kriteria untuk dilakukan evaluasi lebih lanjut. Pada tahap evaluasi kelayakan, artikel yang tidak berfokus pada pembelajaran kimia tingkat SMA, tidak memiliki relevansi langsung dengan penggunaan AR dan VR, atau tidak memenuhi kriteria publikasi yang telah ditentukan dikeluarkan dari proses analisis. Setelah melalui proses evaluasi secara menyeluruh, diperoleh 20 artikel yang memenuhi seluruh kriteria inklusi dan digunakan sebagai sumber data dalam kajian ini.



**Gambar 2. Tahap Seleksi**

Data artikel yang telah dikumpulkan kemudian dikelompokkan

berdasarkan penggunaan teknologi AR dan VR. Pengelompokan ini bertujuan untuk melihat perbandingan jumlah penelitian yang menggunakan kedua teknologi tersebut. Selain itu, data juga dianalisis berdasarkan tahun publikasi artikel. Hasil analisis tersebut disajikan dalam bentuk tabel persentase agar perbandingan penelitian AR dan VR dapat terlihat dengan lebih jelas.

**Tabel 5. Kategori jumlah artikel AR dan VR**

| Nama         | Jumlah Arikel |
|--------------|---------------|
| AR           | 10            |
| VR           | 4             |
| AR dan VR    | 5             |
| <b>Total</b> | <b>20</b>     |

Persentase setiap kategori artikel dihitung menggunakan rumus:

$$P = \frac{f}{N} \times 100 \%$$

$P$  adalah persentase,  $f$  adalah jumlah artikel pada masing-masing kategori, dan  $N$  adalah total artikel yang dianalisis, dan 100% adalah Konstanta persentase.

**Tabel. 6 Persentase Artikel AR dan VR**

| Kategori     | Jumlah Artikel | Persentase  |
|--------------|----------------|-------------|
| AR           | 10             | 50%         |
| VR           | 5              | 25%         |
| AR dan VR    | 5              | 25%         |
| <b>Total</b> | <b>20</b>      | <b>100%</b> |

Berdasarkan hasil analisis terhadap 20 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, penelitian mengenai pemanfaatan AR dalam pembelajaran kimia mendominasi dengan jumlah 10 artikel (50%). Sementara itu, penelitian yang berfokus pada VR sebanyak 5 artikel (25%), dan penelitian yang mengkaji integrasi AR dan VR juga sebanyak 5 artikel (25%).

Hasil tersebut menunjukkan bahwa AR merupakan teknologi yang paling banyak dimanfaatkan dalam pembelajaran kimia dibandingkan VR maupun integrasi keduanya. Dominasi pemanfaatan AR diduga karena teknologi ini lebih mudah diterapkan dalam proses pembelajaran, memiliki biaya implementasi yang relatif lebih rendah, serta mampu memvisualisasikan konsep-konsep kimia yang abstrak secara langsung melalui perangkat yang mudah diakses oleh peserta didik.

### 1. Tren AR dan VR dalam Pembelajaran Kimia

Sejak beberapa tahun terakhir, tren pemanfaatan teknologi AR dan VR dalam pembelajaran kimia berkembang dengan sangat pesat. Peningkatan ini dipicu oleh kebutuhan pendidikan modern untuk menghadirkan pengalaman belajar yang lebih kontekstual, interaktif, dan mampu menjembatani kesulitan utama siswa dalam memahami representasi kimia yang abstrak. Baik AR maupun VR semakin banyak diterapkan di sekolah menengah karena keduanya dapat memberikan pengalaman visual yang sebelumnya tidak dapat dicapai melalui buku teks ataupun media dua dimensi tradisional. Perkembangan perangkat digital yang semakin mudah diakses juga mempercepat integrasi teknologi ini ke dalam ruang kelas.

Pada fase awal perkembangan AR dan VR dalam pembelajaran sains, beberapa penelitian telah menunjukkan fondasi penting yang menjadi landasan tren pemanfaatan teknologi ini pada tahun-tahun berikutnya. Penggunaan AR berbasis aktivitas hands-on mampu meningkatkan pemahaman konsep reaksi kimia, minat belajar, serta retensi jangka panjang siswa, menandakan

bahwa AR sejak awal telah diarahkan pada pembelajaran yang aktif dan berpusat pada peserta didik. Selaras dengan itu, kajian deskriptif memetakan arah perkembangan penelitian VR dalam pendidikan sains dan menemukan bahwa penelitian VR pada periode tersebut didominasi desain eksperimental, terutama pada kelompok mahasiswa dan calon guru, dengan fokus utama pada peningkatan hasil belajar [21]. Temuan awal ini menunjukkan bahwa sejak 2021, AR dan VR telah menunjukkan potensi kuat sebagai media pembelajaran yang mendukung visualisasi, interaktivitas, dan efektivitas belajar, bahkan penggunaan AR dan VR ini telah terbukti meningkatkan keterampilan siswa dalam berpikir tingkat tinggi. Selanjutnya dijelaskan bahwa dalam proses pembelajaran menggunakan AR juga dapat dibantu dengan keberadaan teknologi untuk meningkatkan kebutuhan visualisasi 3D [12].

Pada tahun-tahun berikutnya, AR banyak dimanfaatkan untuk memperjelas representasi kimia, terutama ketika siswa harus memahami bentuk molekul, struktur hidrokarbon, atau visualisasi partikel. AR memungkinkan siswa mengamati objek tiga dimensi secara langsung di atas lingkungan nyata, sehingga konsep abstrak menjadi lebih konkret. Representasi makroskopik, submikroskopik, dan simbolik dapat dipadukan secara lebih utuh ketika ditampilkan melalui AR. Maka dari itu banyak sekolah mulai memanfaatkan media AR karena sifatnya yang fleksibel, mobile, dan mudah diintegrasikan dengan materi ajar [22].

Dalam tren yang lebih luas, AR juga mulai diintegrasikan dengan model pembelajaran berbasis permainan maupun simulasi. Perkembangan

aplikasi *mobile* AR memungkinkan siswa mempelajari kimia secara lebih aktif dan mandiri. Media *game* berbasis AR bahkan dapat meningkatkan literasi dan numerasi siswa. Tren AR tidak hanya bergerak dalam ranah visualisasi, tetapi juga diarahkan pada penguatan kompetensi kognitif yang lebih luas. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan AR telah berevolusi dari sekadar alat bantu visual menjadi platform pembelajaran yang lebih partisipatif [23]. Berbeda dari AR, tren penggunaan VR semakin mengarah pada pembelajaran imersif melalui laboratorium virtual dan simulasi realistis. VR mampu menghadirkan lingkungan belajar yang memungkinkan siswa berinteraksi langsung dengan fenomena kimia yang rumit, seperti struktur molekul obat atau orbital atomik. Aplikasi seperti MedChemVR menunjukkan bahwa VR dapat meningkatkan pemahaman spasial peserta didik [24]. Tren ini juga mencakup pemanfaatan VR untuk memperjelas konsep orbital hybrid yang biasanya sulit dipahami melalui media statis, sebagaimana ditunjukkan dalam studi VR [25]. Perkembangan VR yang lebih mutakhir memperlihatkan tren yang mengarah pada peningkatan kemampuan berpikir tingkat tinggi.

Peserta didik yang belajar laju reaksi menggunakan Immersive Virtual Reality (IVR) menunjukkan peningkatan yang sangat besar dalam kreativitas dan capaian akademik, hal ini menandakan bahwa VR mulai berfungsi sebagai alat untuk mendorong keterampilan abad 21 [26]. Selain itu, integrasi AR dan VR ke dalam pembelajaran berbasis proyek memperlihatkan tren baru di mana siswa dapat terlibat dalam simulasi eksperimen, kolaborasi, dan penyelesaian proyek berbasis inkuiri [27]. Berdasarkan hal tersebut, tren pemanfaatan AR dan VR bergerak menuju pembelajaran kimia yang lebih individual, kolaboratif, dan berbasis pengalaman.

## 2. Pemanfaatan Ar dan VR dalam Pembelajaran Kimia

Artikel yang telah memenuhi kriteria inklusi selanjutnya dianalisis berdasarkan materi kimia yang menjadi fokus penelitian. Analisis ini dilakukan untuk melihat sebaran penggunaan AR, VR, dan integrasi AR-VR pada berbagai materi pembelajaran kimia. Hasil pengelompokan tersebut disajikan pada Tabel 7 berikut.

**Tabel 7.** Sebaran Materi kimia yang menggunakan AR dan VR serta Integrasi AR VR

| Materi Kimia                        | AR | VR | AR dan VR |
|-------------------------------------|----|----|-----------|
| Struktur Atom                       | √  | √  | √         |
| Struktur Molekul / Geometri Molekul | √  | -  | -         |
| Hidrokarbon                         | √  | -  | -         |
| Ikatan Kimia                        | √  | -  | -         |
| Kimia Organik                       | √  | -  | -         |

|                                |   |   |   |
|--------------------------------|---|---|---|
| Keseimbangan Kimia             | √ | √ | - |
| Laju Reaksi                    |   | √ |   |
| Praktikum Laboratorium Virtual | √ | √ | √ |
| Elektrokimia                   |   | √ | - |
| Visualisasi Submikroskopik     | √ | √ | - |
| Etnosains Kimia                | - | - | √ |

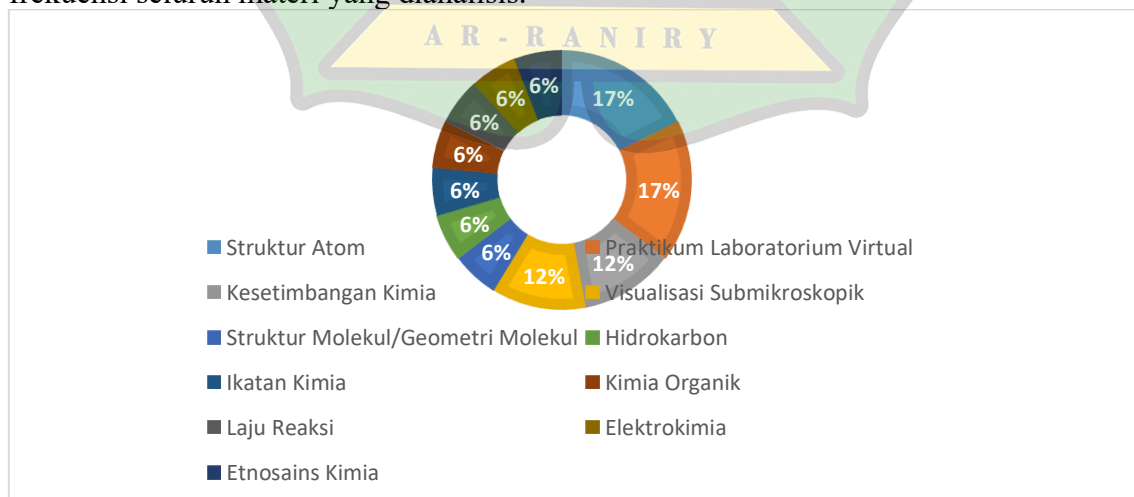
Berdasarkan hasil analisis terhadap 20 artikel yang memenuhi kriteria penelitian, diperoleh berbagai materi kimia yang diintegrasikan dengan teknologi AR dan VR. Hasil perhitungan persentase digunakan untuk menggambarkan distribusi materi kimia yang memanfaatkan teknologi AR dan VR, maupun integrasi AR VR. Frekuensi kemunculan setiap materi kemudian dihitung untuk mengetahui materi yang paling banyak digunakan dalam pembelajaran kimia berbasis AR dan VR.

Persentase setiap materi dihitung menggunakan rumus berikut.

$$P = \frac{f}{N} \times 100 \%$$

$P$  merupakan persentase kemunculan materi,  $f$  adalah frekuensi kemunculan setiap materi, dan  $N$  adalah total frekuensi seluruh materi yang dianalisis.

Berdasarkan hasil perhitungan, materi struktur atom dan praktikum laboratorium virtual merupakan materi yang paling banyak ditemukan dalam artikel yang dianalisis dengan persentase masing-masing sebesar 17,65%. Sementara itu, materi keseimbangan kimia dan visual submikroskopik memiliki persentase sebesar 11,76%. Adapun materi struktur molekul, hidrokarbon, ikatan kimia, kimia organik, laju reaksi, elektrokimia, dan etnosains kimia masing-masing hanya muncul satu kali dengan persentase sebesar 5,88%. Hasil ini menunjukkan bahwa penerapan AR dan VR dalam pembelajaran kimia lebih banyak difokuskan pada materi yang memerlukan visualisasi konsep abstrak dan representasi mikroskopik untuk meningkatkan pemahaman peserta didik.



**Gambar 3. Persentase Sebaran Materi Ar dan VR serta Integrasi AR VR**

Manfaat utama AR dan VR dalam pembelajaran kimia terletak pada kemampuannya menghadirkan pengalaman belajar yang mudah dipahami serta pada efektivitasnya dalam meningkatkan pemahaman konsep, motivasi, dan retensi. AR memungkinkan peserta didik melihat representasi 3D yang ditumpangkan pada dunia nyata, sehingga konsep yang abstrak dapat divisualisasikan secara langsung. VR, di sisi lain, membawa siswa ke lingkungan virtual yang sepenuhnya imersif, membuat mereka dapat mengeksplorasi fenomena kimia yang biasanya tidak terlihat atau sulit diakses. Kedua teknologi ini memberikan landasan pengalaman yang kuat untuk memperdalam pemahaman konseptual yang selama ini menjadi tantangan utama pembelajaran kimia [21].

Pemanfaatan AR terbukti efektif dalam meningkatkan kemampuan multirepresentasi, karena siswa dapat melihat hubungan langsung antara struktur visual molekul dengan representasi simboliknya. Hal ini mempermudah mereka memahami konsep yang selama ini memicu banyak miskonsepsi. Penguatan pemahaman ini tercermin pada hasil penelitian yang menunjukkan bahwa AR meningkatkan kemampuan visualisasi akademik siswa [22]. AR juga menurunkan beban kognitif pada siswa berprestasi rendah karena tampilan 3D yang dinamis membuat proses belajar menjadi lebih ringan dan intuitif [28].

Sementara itu, VR memberikan manfaat yang lebih besar pada pengalaman eksperimental dan prosedural. Simulasi VR memungkinkan siswa berlatih di laboratorium virtual dengan aman, bebas risiko, dan tanpa batasan alat atau bahan kimia.

Pendekatan ini membuat VR efektif dalam membantu siswa memahami langkah kerja praktikum, meningkatkan *self-efficacy*, dan mengurangi kecemasan terhadap kegiatan laboratorium. Manfaat ini menjadi semakin relevan bagi sekolah-sekolah yang memiliki keterbatasan fasilitas nyata. Selain itu, VR juga menunjukkan kemampuan untuk meningkatkan hasil belajar dan efisiensi siswa dalam menyelesaikan tugas yang bersifat spasial atau visual [25].

Manfaat VR tidak hanya berhenti pada peningkatan pemahaman konsep, tetapi juga menjangkau ranah keterampilan berpikir tingkat tinggi. Pembelajaran laju reaksi melalui Immersive Virtual Reality (IVR) memberikan dampak besar pada peningkatan kreativitas siswa [26]. VR mampu mendorong siswa berpikir secara divergen dan fleksibel. Keterlibatan emosional dan kognitif yang tinggi dalam pengalaman virtual membuat proses belajar menjadi lebih bermakna, sehingga meningkatkan retensi dan motivasi jangka panjang. Selain manfaat individual, AR dan VR juga memberikan kontribusi penting pada pembelajaran kolaboratif dan berbasis proyek. Integrasi VR-AR dalam model Project-based Learning (PjBL) memungkinkan siswa bekerja dalam tim untuk menyelesaikan proyek berbasis inkuiri, mensimulasikan eksperimen, dan memvisualisasikan molekul abstrak dalam konteks pemecahan masalah nyata [27]. Melalui pengalaman tersebut, siswa memperoleh keterampilan abad ke 21 seperti komunikasi, kolaborasi, kreativitas, dan pemecahan masalah.

Kombinasi visualisasi interaktivitas dan pengalaman autentik membuat AR dan VR menjadi media yang sangat potensial dalam

membangun pembelajaran kimia yang lebih bermakna dan relevan.

Selain memberikan visualisasi yang lebih nyata terhadap konsep-konsep kimia yang abstrak, penggunaan AR dan VR dalam pembelajaran juga memiliki berbagai kelebihan dan

keterbatasan. Berdasarkan hasil analisis artikel yang ditinjau, diperoleh beberapa temuan terkait kelebihan dan kelemahan penggunaan AR-VR dalam pembelajaran kimia yang disajikan pada Tabel 8 berikut

**Tabel 8.** Kelebihan dan Kelemahan pada Temuan AR dan VR

| Kelebihan                                                                       | Kelemahan                                                           | Temuan                                                                                                   |
|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Memvisualisasikan konsep abstrak dan submikroskopik secara lebih konkret.       | Membutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak yang memadai.       | Peserta didik lebih mudah memahami materi yang sulit divisualisasikan melalui pembelajaran konvensional. |
| Meningkatkan motivasi, minat, dan keterlibatan peserta didik.                   | Biaya pengembangan dan implementasi relatif tinggi.                 | Peserta didik lebih mudah memahami materi yang sulit divisualisasikan melalui pembelajaran konvensional. |
| Menyediakan pengalaman belajar yang interaktif dan sesuai dengan situasi nyata. | Tidak semua sekolah memiliki akses terhadap teknologi AR dan VR.    | Pembelajaran menjadi lebih menarik dan berpusat pada peserta didik.                                      |
| Mendukung pelaksanaan praktikum virtual yang aman dan fleksibel.                | Memerlukan pelatihan serta kesiapan guru dalam penggunaannya.       | Simulasi praktikum dapat dilakukan tanpa risiko penggunaan bahan kimia berbahaya.                        |
| Membantu meningkatkan hasil belajar dan pemahaman konsep.                       | Desain yang kurang tepat dapat menimbulkan beban kognitif tambahan. | AR dan VR efektif digunakan untuk mendukung pembelajaran kimia pada materi yang kompleks.                |

Berdasarkan Tabel di atas, AR dan VR memiliki potensi besar dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kimia, terutama pada aspek visualisasi konsep, interaktivitas, dan pengalaman belajar. Namun, implementasinya masih menghadapi beberapa tantangan terkait ketersediaan teknologi, biaya, dan kesiapan pengguna sehingga diperlukan perencanaan yang matang agar manfaatnya dapat diperoleh secara

maksimal sesuai dengan tujuan pembelajaran.

Hasil kajian literatur yang dilakukan, penelitian ini mengintegrasikan AR dan VR dalam pembelajaran kimia masih lebih sedikit dibandingkan penelitian yang hanya berfokus pada salah satu teknologi. Dari 20 artikel yang dianalisis, hanya 5 artikel (25%) yang secara khusus mengkaji pemanfaatan AR dan VR secara bersamaan. Meskipun jumlahnya masih

terbatas, hasil penelitian menunjukkan bahwa kombinasi kedua teknologi tersebut mampu menggabungkan keunggulan AR dalam memvisualisasikan objek kimia pada lingkungan nyata dengan kemampuan VR dalam menghadirkan pengalaman belajar yang imersif dan simulatif. Integrasi AR dan VR juga berpotensi meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, keterlibatan peserta didik, serta mendukung pembelajaran berbasis proyek dan praktikum virtual. Temuan ini menunjukkan bahwa sinergi AR dan VR memiliki prospek yang menjanjikan dalam pembelajaran kimia, namun masih diperlukan penelitian lebih lanjut untuk mengkaji efektivitas, model implementasi, serta dampaknya pada berbagai materi kimia dan jenjang pendidikan yang berbeda.

## SIMPULAN

Temuan penelitian dari hasil ILR terhadap 20 artikel yang memenuhi kriteria inklusi, dapat disimpulkan bahwa teknologi AR dan VR memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas pembelajaran kimia. Pemanfaatan AR lebih dominan dibandingkan VR maupun integrasi keduanya, dengan persentase sebesar 50%, sedangkan penelitian yang berfokus pada VR dan integrasi AR–VR masing-masing sebesar 25%. Dominasi AR menunjukkan bahwa teknologi ini lebih banyak digunakan karena relatif mudah diterapkan, biaya implementasinya lebih rendah, serta efektif dalam memvisualisasikan konsep-konsep kimia yang abstrak.

Hasil kajian juga menunjukkan bahwa materi yang paling banyak

memanfaatkan teknologi AR dan VR adalah struktur atom dan praktikum laboratorium virtual, masing-masing sebesar 17,65%. Temuan ini mengindikasikan bahwa kedua teknologi tersebut terutama digunakan pada materi yang membutuhkan visualisasi konsep mikroskopik dan abstrak yang sulit dipahami melalui metode pembelajaran konvensional.

Secara umum, AR dan VR terbukti mampu meningkatkan pemahaman konsep, motivasi belajar, keterlibatan peserta didik, kemampuan visualisasi, serta hasil belajar kimia. AR unggul dalam menampilkan representasi tiga dimensi yang terintegrasi dengan lingkungan nyata, sedangkan VR memberikan pengalaman belajar yang memberikan pengalaman nyata melalui simulasi dan laboratorium virtual. Selain itu, integrasi AR dan VR menunjukkan potensi yang menjanjikan karena mampu menggabungkan keunggulan kedua teknologi dalam mendukung pembelajaran yang lebih interaktif, kontekstual, dan berbasis pengalaman. Meskipun demikian, tren pemanfaatan AR dan VR masih menghadapi beberapa kendala, seperti kebutuhan perangkat yang memadai, biaya pengembangan yang relatif tinggi, keterbatasan akses teknologi di sekolah, serta kesiapan guru dalam mengintegrasikan teknologi tersebut ke dalam pembelajaran. Oleh karena itu, diperlukan penelitian lanjutan yang mengkaji secara lebih mendalam sinergi AR dan VR, khususnya pada berbagai materi kimia dan jenjang pendidikan yang berbeda, sehingga pemanfaatannya dapat dioptimalkan untuk mendukung pembelajaran kimia yang lebih efektif dan bermakna.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. M. Al-Ansi, M. Jaboob, A. Garad, and A. Al-Ansi, "Analyzing augmented reality (AR) and virtual reality (VR) recent development in education," *Social Sciences & Humanities Open*, vol. 8, no. 1, p. 100532, 2023, doi: 10.1016/j.ssaho.2023.100532.
- [2] G. Thiele, K. A. Mirica, K. C. Lau, and S. Habig, "AR, VR, and the Metaverse in Teaching: An Advocacy for Precise Differentiation," *J. Chem. Educ.*, vol. 100, no. 11, pp. 4177–4180, Nov. 2023, doi: 10.1021/acs.jchemed.3c00511.
- [3] S. Anisyah, M. M. M. Imlessah, S. Kusumaningrum, N. S. Haryati, and J. T. B. Santoso, "Augmented reality: Interactive and fun learning media to improve student learning outcomes," *Jurnal Kependidikan Penelitian Inovasi Pembelajaran*, vol. 8, no. 2, Nov. 2024, doi: 10.21831/jk.v8i2.70167.
- [4] W. R. Liza and G. Guspatni, "Development of Augmented Reality Technology Integrated Learning Media on the Topic of Chemistry and Matter," *Hydrogen: Jurnal Kependidikan Kimia*, vol. 12, no. 4, p. 844, Aug. 2024, doi: 10.33394/hjkk.v12i4.12230.
- [5] S. K. Kartini, T. A. N. Putra, H. N. Lukman, and W. G. Wardhana, "Pengembangan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality pada Materi Molekul Kimia Berbasis Android Tingkat SMA," *ilmiah dan teknologi*, vol. 11, no. 2, 2023.
- [6] R. N. Khairani and A. K. Prodjosantoso, "Application of Augmented Reality on Chemistry Learning: A Systematic Review," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 9, no. 11, pp. 1221–1228, Nov. 2023, doi: 10.29303/jppipa.v9i11.4412.
- [7] P. P. Nechypurenko, S. O. Semerikov, and O. Yu. Pokhliestova, "An augmented reality-based virtual chemistry laboratory to support educational and research activities of 11th grade students," *Educational Dimension*, vol. 8, pp. 240–264, Jun. 2023, doi: 10.31812/educdim.4446.
- [8] S.-Y. Chen and S.-Y. Liu, "Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course," *Comput. Human Behav.*, vol. 111, p. 106418, Oct. 2020, doi: 10.1016/j.chb.2020.106418.
- [9] A. Fombona-Pascual, J. Fombona, and R. Vicente, "Augmented Reality, a Review of a Way to Represent and Manipulate 3D Chemical Structures," *J. Chem. Inf. Model.*, vol. 62, no. 8, pp. 1863–1872, Apr. 2022, doi: 10.1021/acs.jcim.1c01255.
- [10] P. Viitaharju, M. Nieminen, J. Linnera, K. Yliniemi, and A. J. Karttunen, "Student experiences from virtual reality-based chemistry laboratory exercises," *Education for Chemical Engineers*, vol. 44, pp. 191–199, Jul. 2023, doi: 10.1016/j.ece.2023.06.004.
- [11] A. Gungor *et al.*, "The Use of Virtual Reality in A Chemistry Lab and Its Impact on Students'

- Self-Efficacy, Interest, Self-Concept and Laboratory Anxiety,” *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, vol. 18, no. 3, p. em2090, Feb. 2022, doi: 10.29333/ejmste/11814.
- [12] E. Amirbekova, N. Shertayeva, and E. Mironova, “Teaching chemistry in the metaverse: the effectiveness of using virtual and augmented reality for visualization,” *Front. Educ. (Lausanne)*, vol. 8, Jan. 2024, doi: 10.3389/educ.2023.1184768.
- [13] A. Durukan, H. Artun, and A. Temur, “Virtual Reality in Science Education: a Descriptive Review,” *Journal of Science Learning*, vol. 3, no. 3, pp. 132–142, Jul. 2020, doi: 10.17509/jsl.v3i3.21906.
- [14] M. D. K. Degeng and A. N. Triretningrum, “Exploring the Impact of Virtual Reality and Learning Styles on Student Outcomes: Insights into Synergistic Effects and Academic Success,” *JTP - Jurnal Teknologi Pendidikan*, vol. 27, no. 2, pp. 360–370, Aug. 2025, doi: 10.21009/jtp.v27i2.54532.
- [15] A. A. Fransiska and A. Fitriyani, “PENGEMBANGAN TEKNOLOGI VIRTUAL REALITY DALAM PEMBELAJARAN KIMIA,” *Journal of Chemistry Education and Integration*, vol. 3, no. 2, p. 93, Aug. 2024, doi: 10.24014/jcei.v3i2.32350.
- [16] P. Ismi Nuriah Khaliq, “Desain Media Pembelajaran Terintegrasi Augmented Reality pada Materi Pengenalan Alat-Alat Laboratorium Kimia Fase E SMA/MA.”
- [17] N. Muhammad Kautsar, “Seminar Nasional SENCO 2025 Program Studi Pendidikan IPA, Universitas Trunojoyo Madura REVOLUSI PEMBELAJARAN SAINS DIGITAL: ANALISIS BIBLIOMETRIK TREN PENGEMBANGAN MEDIA AR-VR DALAM IPA,” 2025.
- [18] W. Lubbe, W. ten Ham-Baloyi, and K. Smit, “The integrative literature review as a research method: A demonstration review of research on neurodevelopmental supportive care in preterm infants,” *Journal of Neonatal Nursing*, vol. 26, no. 6, pp. 308–315, Dec. 2020, doi: 10.1016/j.jnn.2020.04.006.
- [19] A. M. Kutcher and V. T. LeBaron, “A simple guide for completing an integrative review using an example article,” *Journal of Professional Nursing*, vol. 40, pp. 13–19, May 2022, doi: 10.1016/j.profnurs.2022.02.004.
- [20] S. Ruiz Cerrillo, “Augmented reality and learning in organic chemistry,” *Apertura*, vol. 12, no. 1, Mar. 2020, doi: 10.32870/Ap.v12n1.1853.
- [21] V. F. Ningrum, W. Sumarni, and E. Cahyono, “Development of Augmented Reality-Based Learning Media on Concept of Hydrocarbon to Improve Multi-representation Ability,” *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 7, no. SpecialIssue, pp. 256–265, Dec. 2021, doi: 10.29303/jppipa.v7iSpecialIssue.1038.
- [22] W. Tarng, Y.-C. Tseng, and K.-L. Ou, “Application of Augmented

- Reality for Learning Material Structures and Chemical Equilibrium in High School Chemistry,” *Systems*, vol. 10, no. 5, p. 141, Sep. 2022, doi: 10.3390/systems10050141.
- [23] M. S. C. Pratama, E. Erlina\*, M. Ulfah, E. Enawaty, and D. Williams, “Augmented Reality Molecular Shape Cards: A Novel Approach to Strengthen Students’ Understanding of Molecular Shape,” *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, vol. 13, no. 4, pp. 1932–1050, Oct. 2025, doi: 10.24815/jpsi.v13i4.47653.
- [24] U. Cahyana, J. R. Luhukay, I. Lestari, I. Irwanto, and J. S. Suroso, “Improving Students’ Literacy and Numeracy Using Mobile Game-Based Learning with Augmented Reality in Chemistry and Biology,” *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, vol. 17, no. 16, pp. 4–15, Aug. 2023, doi: 10.3991/ijim.v17i16.42377.
- [25] J. S. Akbar and D. Djakariah, “Efektifitas Penggunaan Media Pembelajaran Berbasis Augmented Reality dalam Pembelajaran Kimia di Era Society 5.0,” *UNESA Journal of Chemical Education*, vol. 13, no. 2, pp. 86–99, May 2024, doi: 10.26740/ujced.v13n2.p86-99.
- [26] L. Ribič and I. Devetak, “Augmented reality in developing students’ understanding of chemistry triplet: a systematic literature review,” *Chemistry Teacher International*, vol. 7, no. 1, pp. 157–172, Mar. 2025, doi: 10.1515/cti-2024-0060.
- [27] C. Prasetya, Y. Qumarani, N. Wahyuni, and N. Fahira, “Pengembangan Modul Pembelajaran Green Chemistry Berbasis Sustainable-Pjbl Berbantuan Augmented Reality,” *Lantanida Journal*, vol. 13, no. 2, doi: 10.22373/q2ca1y12.
- [28] E. Laila and S. Atun, “Augmented Reality sebagai Media Inovatif dalam Pembelajaran Kimia untuk Meningkatkan Motivasi Belajar Siswa: Sebuah Systematic Literature Review,” *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, vol. 14, no. 1, pp. 79–91, Jan. 2026, doi: 10.21831/jpms.v14i1.90940.
- [29] C.-Y. Lin and H.-K. Wu, “Effects of different ways of using visualizations on high school students’ electrochemistry conceptual understanding and motivation towards chemistry learning,” *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 22, no. 3, pp. 786–801, 2021, doi: 10.1039/D0RP00308E.
- [30] A. Nisa and K. Dwiningsih, “Analisis Hasil Belajar Peserta Didik Melalui Media Visualisasi Geometri Molekul Berbasis Mobile Virtual Reality (MVR),” *PENDIPA Journal of Science Education*, vol. 6, no. 1, pp. 135–142, Jul. 2021, doi: 10.33369/pendipa.6.1.135-142.
- [31] E. N. Laricheva and A. Ilikchyan, “Exploring the Effect of Virtual Reality on Learning in General Chemistry Students with Low Visual-Spatial Skills,” *J. Chem. Educ.*, vol. 100, no. 2, pp. 589–596, Feb. 2023, doi: 10.1021/acs.jchemed.2c00732.

- [32] S. Qorbani, S. Dalili, A. Arya, and C. Joslin, "Assessing Learning in an Immersive Virtual Reality: A Curriculum-Based Experiment in Chemistry Education," *Educ. Sci. (Basel)*, vol. 14, no. 5, p. 476, Apr. 2024, doi: 10.3390/educsci14050476.
- [33] I. Irwanto, T. Lintangnicita, U. Cahyana, and J. Cha, "Examining the effect of immersive virtual reality on 11th-grade students' creative thinking disposition and academic achievement," *Discover Education*, vol. 4, no. 1, p. 438, Oct. 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00880-1.
- [34] S. A. A. A. Falah, S. Abdul, A. A. Falah, R. Fajr, S. Ali, and A. Sadat, "Effects of Virtual and Augmented Reality in Chemistry Education: Systematic Literature Review," 2024. [Online]. Available: [www.ijassjournal.com](http://www.ijassjournal.com)
- [35] R. JoronaValona, E. Rohaeti, E. W. Laksono, and A. Anjamampionona Notiavina, "Immersive and Experiential Learning: A Review of Project-based Learning and Virtual Reality in Chemistry Education," *Jurnal Pendidikan Matematika dan Sains*, vol. 13, no. 2, pp. 311–320, Jun. 2025, doi: 10.21831/jpms.v13i2.85704.
- [36] T. L. Paembonan and V. A. Dumanaw, "Digital Ethnoscience: AR/VR Media Shaping Chemistry Learning in Indonesia," *Global Education Journal*, vol. 4, pp. 99–106, 2026, doi: 10.59525/gej.1587.
- [37] A. Fombona-Pascual, J. Fombona, and E. Vázquez-Cano, "VR in chemistry, a review of scientific research on advanced atomic/molecular visualization," *Chemistry Education Research and Practice*, vol. 23, no. 2, pp. 300–312, 2022, doi: 10.1039/D1RP00317H.
- [38] V. F. Ningrum, W. Sumarni, and E. Cahyono, "Development of Augmented Reality-Based Learning Media on Concept of Hydrocarbon to Improve Multi-representation Ability," *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, vol. 7, no. SpecialIssue, pp. 256–265, Dec. 2021, doi: 10.29303/jppipa.v7iSpecialIssue.1038.
- [39] U. Cahyana, J. R. Luhukay, I. Lestari, I. Irwanto, and J. S. Suroso, "Improving Students' Literacy and Numeracy Using Mobile Game-Based Learning with Augmented Reality in Chemistry and Biology," *International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM)*, vol. 17, no. 16, pp. 4–15, Aug. 2023, doi: 10.3991/ijim.v17i16.42377.
- [40] A. Abuhammad *et al.*, "'MedChemVR': A Virtual Reality Game to Enhance Medicinal Chemistry Education," *Multimodal Technologies and Interaction*, vol. 5, no. 3, p. 10, Mar. 2021, doi: 10.3390/mti5030010.
- [41] I. Irwanto, T. Lintangnicita, U. Cahyana, and J. Cha, "Examining the effect of immersive virtual reality on 11th-grade students' creative thinking disposition and academic achievement," *Discover Education*, vol. 4, no. 1, Dec. 2025, doi: 10.1007/s44217-025-00880-1.



- [42] W. Tarng, Y.-C. Tseng, and K.-L. Ou, "Application of Augmented Reality for Learning Material Structures and Chemical Equilibrium in High School Chemistry," *Systems*, vol. 10, no. 5, p. 141, Sep. 2022, doi: 10.3390/systems10050141.

